

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**LIBEREC 2013**

**DENISA SALAČOVÁ**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**



Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

**VLIV BARVY PODKLADU NA  
LUMINISCENČNÍ EFEKT NAVRŽENÉHO  
VZORU**

**INFLUENCE OF THE FOUNDATION COLOUR ON  
THE LUMINESCENCE EFFECT OF THE DESIGNED  
MODEL**

Denisa Salačová

KHT-942

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Martina Víková, PhD.

**Konzultant:** Doc. Ing. Michal Vík, PhD.

**Rozsah práce:**

Počet stran textu ...77

Počet obrázků .....30

Počet tabulek .....2

Počet grafů.....21

Počet stran příloh..0

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra hodnocení textilií

Školní rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Denisu Salačovou

obor: Textilní marketing

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje toto zadání diplomové práce:

Název tématu:

Vliv barvy podkladu na luminiscenční efekt navrženého vzoru

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte přehled dosavadních poznatků v oblasti luminiscenčních materiálů a jejich potenciálních aplikací na textiliích.
2. Připravte návrhy luminiscenčních tisků s různou barvou textilního substrátu.
3. Proved'te studii vyhasínání luminiscence s ohledem na barvu použitého textilního substrátu.
4. Porovnejte objektivně naměřené výsledky doby vyhasínání se subjektivním hodnocením na panelu alespoň 25 adaptovaných pozorovatelů při 5-ti násobném opakování.
5. Navrhňte další postup

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

cca 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. Ropp, R.C. : Luminescence and Solid State, Elsevier 2004
2. Pátek, K.: Luminescence, SNTL Praha 1962
3. Nassau, K. : Color for Science, Art and Technology, Elsevier, 1998
4. Časopisy : Col. Res. Appl., Die Farbe, Tex. Chem. Col., Coloration Technology, Light and Measurement, atd.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martina Víková, PhD.

Konzultant: Doc. Ing. Michal Vík, PhD.

Zadání bakalářské práce: 17.10. 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

L.S.

Ing. Vladimír Bajzík, PhD

Ing. Jana Drašarová, PhD

Vedoucí katedry

Děkan

V Liberci dne

# PROHLÁŠENÍ

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

# PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych vyjádřit poděkování za navržení a následné konzultaci mé bakalářské práce Ing. Martině Vikové PhD., za veškeré rady, pomoc a trpělivost při zpracování, za kterou jsem velmi vděčná.

Dále pak panu Doc. Ing. Michalu Vikovi PhD., za pomoc a ochotu při konzultaci a měření potřebných dat.

V neposlední řadě děkuji své rodině a všem přátelům, kteří mě nejen během vypracovávání mé práce, ale po celou dobu studia podporovali i v těch nejtěžších chvílích.

# ANOTACE

Obsahem práce je studium vyhasínání luminiscenčního pigmentu a vliv barvy podkladu na jeho efekt.

Teoretická část se zabývá pojmem luminiscence a jejím rozdělením, využitím luminiscenčních materiálů, pigmentů a barviv. Dále se v práci pojednává o fyziologii oka a jeho vnímání luminiscence spolu s metodami jejího měření.

V experimentální části je popsán postup měření intenzity a doby vyhasínání luminiscenčního pigmentu s ohledem na barvu podkladu daného vzorku a použité přístroje, kterými se experiment prováděl. Výsledné naměřené hodnoty jsou uvedeny v podobě grafů a tabulek.

V závěru práce byly veškeré hodnoty porovnány a prodiskutovány s ohledem na to, zda byla prokázána hlavní myšlenka o vlivu barvy podkladu na luminiscenční efekt navrženého vzoru.

## KLÍČOVÁ SLOVA:

- Luminiscence
- Vyhasínání
- Elektromagnetické záření
- Barevné spektrum
- Pigmenty



# ANNOTATION

The content of my bachelor thesis is the research of the extinction of luminescence pigment and the influence of the foundation colour on its effect.

The theoretical part pursue the concept of luminescence and its division, the use of luminescent materials, pigments and colours. Furthermore, the thesis deals with the physiology of the eye and its perception of luminescence together with methods of measurement.

The process of measuring of the intensity and time of extinction of the luminescence pigment with respect to the background colour of the sample and used equipment is describe at the experimental part. The resulting measured values are given in the form of graphs and tables.

In the conclusion, all values were compared and discussed with regard to whether it has been proved main idea of the influence of the foundation color on the luminiscence effect of the designed model.

## KEY WORDS:

- Luminescence
- Extinction
- Electromagnetic radiation
- Color spectrum
- Pigment

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	13
Úvod .....	14
I. Teoretická část.....	15
1 Elektromagnetické záření .....	15
1.1 Emisní a excitační spektrum.....	16
2 Luminiscence.....	18
2.1.1 Rozdělení Luminiscence .....	19
2.1.2 Podle způsobu buzení .....	20
2.1.3 Podle délky dohasínání .....	21
2.1.3.1 Fluorescence .....	21
2.1.3.2 Zpožděná fluorescence .....	22
2.1.3.3 Fosforescence .....	22
2.1.4 Podle chemického složení luminoforu .....	23
2.1.4.1. Plynné luminiscenční látky.....	23
2.1.4.2. Pevné luminofory .....	23
2.1.4.3 Kapalně luminiscenční látky .....	24
2.2 Luminiscenční centra.....	25
2.3 Dvojitá Luminiscence.....	26

2.3.1 Zhášení luminiscence .....	27
2.3.2 Vyhasínání luminiscence lidským okem .....	28
3 Využití Luminiscence .....	28
3.1 Luminiscenční materiály .....	29
3.1.2 Glow yarns, neboli zářivé příze .....	29
4 Vnímání vyhasínání luminiscence lidským okem .....	30
4.1 Fyziologie oka .....	30
4.2. Spektrální a fotometrická citlivost lidského oka .....	31
4.2.1 Purkyňův jev .....	32
4.2.2 Akomodace a adaptace .....	33
II. Experimentální část .....	34
5 Příprava vzorků .....	34
5.1 Textilní materiál .....	34
5.2 Pigment .....	35
5.3 Potisk vzorků .....	36
5.4 Použité vzorky .....	37
6 Měření pomocí PR-740 SpectraScan® Spectroradiometer .....	43
6.1 Postup měření .....	44
6.2 Výsledky měření .....	45
6.2.1 Výsledky měření pro radianci .....	45

6.2.2 Výsledky měření pro intenzitu vyzařování – silná koncentrace substrátu – 600 g/kg <sup>-1</sup> .....	48
6.2.3 Výsledky měření pro intenzitu vyzařování - slabší koncentrace N – 200g.kg <sup>-1</sup> .....	52
6.3 Měření přístrojem Spektrometr Avantes USB2000.....	56
6.3.1 Výsledky měření.....	56
6.4 Měření celkového činitele odrazu CSI .....	57
7 Subjektivní hodnocení pozorovatelů .....	61
7.1 Postup měření .....	61
7.2 Výsledky hodnocení .....	61
7.2.1 Bílý podklad .....	64
7.2.2 Zelený podklad .....	64
7.2.3 Černý podklad .....	65
7.2.4 Žlutý podklad.....	65
7.2.5. Hnědý podklad.....	66
7.2.6. Modrý podklad .....	66
7.2.7. Červený podklad.....	67
8 Závěr .....	68
Seznam použité literatury .....	71

## Seznam použitých zkratk a symbolů

C	rychlost světla (m/s)
E	energie
g/l	gram/litr
g/m <sup>2</sup>	gram/metr čtverečný
g/kg <sup>-1</sup>	gram/kilogram
h	Planckova konstanta
$\varphi_e$	intenzita vyzařování
lm	lumen
p <sub>1</sub>	parametr modelu
p <sub>2</sub>	parametr modelu
s	časová jednotka - sekunda
S <sub>0</sub>	singletní stav
S <sub>1</sub>	excitovaný singletní stav
S <sub>2</sub>	excitovaný singletní stav
t	čas
T <sub>1</sub>	tripletní stav
T <sub>2</sub>	tripletní stav
UV	ultrafialové záření
$\alpha$	konstanta
$\lambda$	vlnová délka (nm)
$\nu, f$	frekvence (Hz)

## Úvod

V této práci jsou shrnuty veškeré poznatky z oblasti luminiscence, její rozdělení a způsob vyzařování. Použití luminiscenčních materiálů ať v pevném či kapalném složení se stále rozšiřuje. Působení světelného záření vysílané daným objektem se uplatňuje v různých odvětvích od lékařství, bezpečnostní účely přes osvětlení až k ozdobným a dekoračním výrobkům.

V našem případě je nejdůležitější uplatnění v textilním průmyslu, kdy je jedním z mnoha možností využití vyzařování luminiscence, potiskování luminiscenčního pigmentu na textilií. Pokud si oblékneme takto upravený oděv, nehledíme na to, jakou roli zde hraje barva daného podkladu, protože ve tmě není vidět.

Cílem této práce je zjistit a dokázat, zda má vliv barvy podkladu na luminiscenční efekt navrženého vzoru. Pro hodnocení jsou připraveny vzorky bavlněné textilie různých barev, které budou po nanesení luminiscenčního pigmentu podrobeny několika měřeními. Po všech potřebných měření se zhodnotí veškeré výsledky snímání intenzity vyzařování luminiscence. Díky dosaženým výsledkům bude možno určit a dokázat, že barva a zároveň také jaký odstín textilie, má nejpříznivější vliv na intenzitu a dobu vyzařování a naopak, která ji pohlcuje. Pokud bude tato myšlenka o vlivu barvy podkladu na záření pigmentu doložena kladnými výsledky, mohlo by to znamenat velký posun v oblasti využití luminiscence jak z hlediska užitého, tak z hlediska módního, což by textilní průmysl posunulo opět o krok kupředu.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

### 1 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Elektromagnetické záření znamená vlnění, postupně tvořené magnetickým a elektrickým polem. Toto záření má tzv. duální charakter, kdy se vzhledem k určitým podmínkám dokáže projevovat jako proud částic látky a za jiných také jako vlnění.

Charakteristika elektromagnetického vlnění je vlnová délka  $\lambda$  nebo frekvence  $\nu$  ( $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ).

Ve vakuu se šíří vlnění rychlostí světla  $c = 299792458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 3\cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

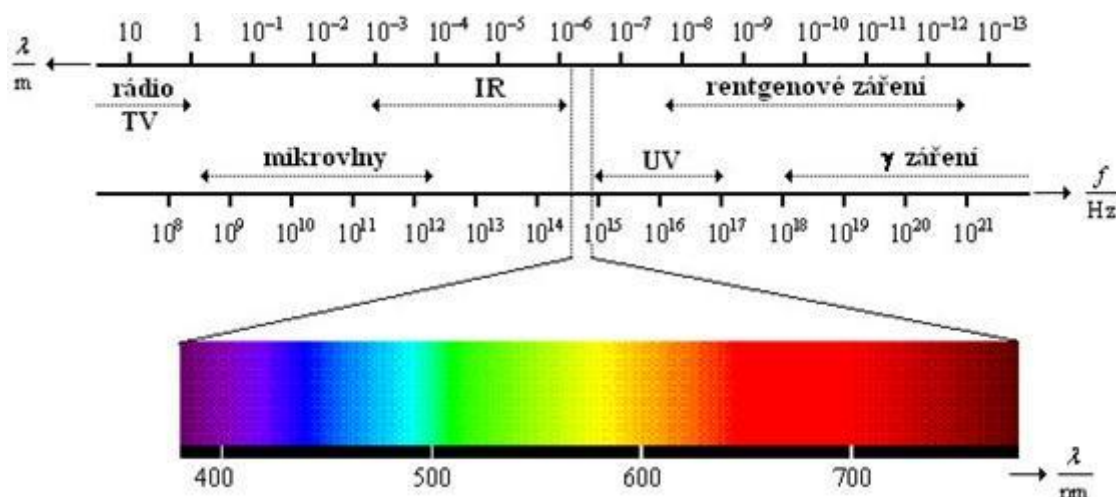
Elektromagnetická energie, která je přenášena se nelze libovolně dělit, avšak souvisí s frekvencí vlnění. Nejmenší hodnota elektromagnetické energie je při určité frekvenci

jako energie jednoho fotonu jako:  $E_\nu = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ , kdy  $h$  znamená Planckovu hodnotu

$h = 6,626069\cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .  $E_\nu$  energie je proto třetí charakteristikou záření. [1] [14]

Jednotlivé vlnové délky pozorované při přicházejícím záření od daného objektu je ovlivněno jeho složením, kdy podle původu rozdělují na dva typy spekter:

1. Pokud je spektrum tvořeno tepelným zářením, které vyzařuje přímo daný objekt, jedná se zde o emisní spektrum.
2. Pokud je spektrum tvořeno zářením pocházejícím z pozadí, které z části propouští a z části pohlcuje daný objekt, jedná se zde o absorpční spektrum.



Obr. 1 Elektromagnetické spektrum.

Na obrázku je znázorněno elektromagnetické spektrum, které zahrnuje kompletní škálu vyzařovaných energií, které jsou zde měřeny jako vlny nebo frekvence.

Toto spektrum zahrnuje záření všech vlnových délek, které rozlišujeme na rádiové vlny, mikrovlny, infračervené světlo, viditelné světlo, UV-záření, RTG-záření a gama záření. [15]

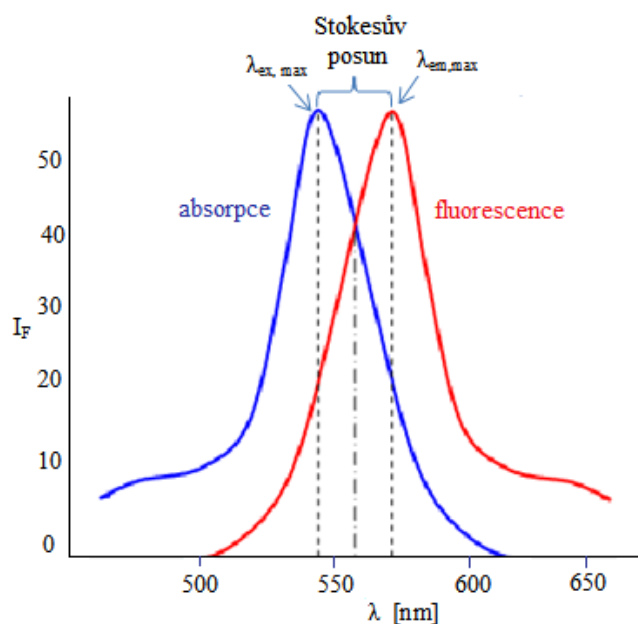
## 1.1 Emisní a excitační spektrum

Luminiscenci charakterizuje emisní spektrum, excitační spektrum, Stokesův posun, kvantový výtěžek, čas vyhasínání luminiscence

*Emisní spektrum* (fluorescenční resp. fosforescenční) – intenzita luminiscence, která má závislost na vlnové délce. Měří se při konstantní  $\lambda_{ex}$ .

*Excitační spektrum* (absorpční) – absorpce luminoforu má závislost na vlnové délce. Měří se při konstantní  $\lambda_{em}$ . [2]





Obr. 2 Emisní a excitační spektrum. [7]

Podobnost excitačního a absorpčního spektra nastává tehdy, je-li absorbována část molekuly, která je také odpovědná za fluorescenci. Kashovo pravidlo: Vlnová délka excitace neovlivňuje tvar emisního spektra, proto lze excitovat zářením s jakoukoliv vlnovou délkou nacházející se v excitačním spektru. Nejvyšší intenzita luminiscence nastává při rovnosti excitace vlnové délky a excitačního maximumu. Spektra fluorescence jsou v místě vyšší vlnové délky z důvodu přechodu z T1 do S0 při menší rozdílnosti energie, než při přechodu z S1 do S0. [1] [4]

Stokesův posuv zaznamenává rozdíl mezi emisním a absorpčním spektrem, kdy se emitované záření vyznačuje vyšší vlnovou délkou a tím také nižší energií. [1]

## 2 Luminiscence

Luminiscence je jev, který vzniká emisí světla látkou způsobenou světlem, teplem, nebo chemicky a to bez uvolnění tepla. Elektrony, které přecházejí do excitovaných stavů zajišťují uvolnění světelné energie. Záření o kratší vlnové délce (větší frekvence) vyvolává v látce určitého složení vznik záření o delší vlnové délce (nižší frekvenci)

Látka může vysílat luminiscenční záření i ve spektrálních oblastech, ve kterých je rovnovážné teplotní vyzařování, vyjádřené Plankovým zákonem, nulové. [3]

Záření o frekvenci  $f$  může být vyzařováno, nebo pohlcováno jen po kvantech energie o velikosti  $e = h \cdot f$ .

$$E_{ol} = \frac{dE_o}{d\lambda} = f(\lambda, T) = c^2 h \frac{2\pi \lambda^{-5}}{e^{ch/k\lambda T} - 1}$$

„V tomto zákoně představuje  $h$  Planckovu konstantu, která má hodnotu

$h = (6,6256 \pm 0,0005) \cdot 10^{-34}$  J.s. Z uvedené formulace Planckova vyzařovacího zákona je možné pro dokonale černé těleso (dokonalý zářič) ve vakuu odvodit vztah pro spektrální hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa  $E_{ol}$  jako funkci vlnové délky záření  $\lambda$  a teploty zářiče  $T$  kde  $E_o$  je hustota zářivého toku dokonale černého tělesa a  $k$  je Boltzmannova konstanta, která má hodnotu  $k = (1,38054 \pm 0,00018) \cdot 10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup>.“ [16]

Luminiscence tedy může vznikat i při nízkých teplotách, jestliže se podaří nějakým způsobem dosáhnout toho, aby počet elektronů ve vybuzených stavech převýšil rovnovážnou hodnotu tohoto počtu, odpovídající dané teplotě. Toho je možné dosáhnout třeba účinkem ultrafialového, nebo rentgenového záření bombardováním látky urychlenými elektrony nebo jinými nabitými částicemi, působením silného elektrického pole atd. Látka je pak na rozdíl od teplotního vyzařování v nerovnovážném vybuzeném stavu.

Druhou typickou vlastností luminiscence je existence konečné doby trvání vybuzeného stavu, které má za následek doznívání luminiscence. Doba života vybuzeného stavu značně převyšuje periodu světelných kmitů. V délce doznívání se to také projeví, jestliže vybuzení a vyzáření je odděleno dalšími procesy, např. přenosem pohlcené energie uvnitř luminiscenční látky. [5]

Luminiscenční záření je charakterizováno pěti základními veličinami:

- intenzitou čili počtem světelných kvant emitovaných z jednotkové plochy za sekundu
- spektrálním složením (udává pravděpodobnost emise fotonu s danou energií)
- polarizací (udává směr kmitání elektrického vektoru světelné vlny)
- koherentními vlastnostmi (vyjadřují vztahy mezi fázemi světelných vln vyzařovaných jednotlivými atomárními či molekulárními oscilátory v dipólovém přiblížení)
- délkou dohasínání [5]

### **2.1.1 Rozdělení Luminiscence**

Protože je to velmi složitý jev, jeho přeměny energie se mohou lišit a není snadné provést její třídění. Proto jsou zde uvedeny alespoň tři základní druhy rozdělení.

### 2.1.2 Podle způsobu buzení

- 1) **Fotoluminiscence** – buzení UV, VIS nebo NIR světlem
- 2) **Rentgenoluminiscence** – buzení fotony RTG záření (luminiscenční stínítka, scintilátory, ...)
- 3) **Katodoluminiscence** – vyvolaná dopadajícími elektrony (obrazovky televizorů, stínítka el. mikroskopů)
- 4) **Elektroluminiscence** – vzniká účinkem el. pole nebo průchodem el. proudu
- 5) **Galvanoluminiscence** – elektrochemická reakce nebo el. proud
- 6) **Radioluminiscence** – emise vybuzení částicemi  $\alpha, \beta$  nebo zářením  $\gamma$  (scintilátory)
- 7) **Mechanoluminiscence** – vybuzení vnějším mechanickým působením
- 8) **Sonoluminiscence** – buzení ultrazvukem
- 9) **Termoluminiscence** – vyvolaná dodáním tepelné energie (ohřevem), obvykle po předchozím vybuzení jiným způsobem
- 10) **Krystaloluminiscence** – při růstu krystalů
- 11) **Lyoluminiscence** – při rozpouštění krystalů
- 12) **Kryoluminiscence** – působení nízkých teplot
- 13) **Chemiluminiscence** – provází některé typy exotermních chemických reakcí, meziprodukty nebo konečné produkty vznikají v excitovaném stavu
- 14) **Bioluminiscence** – svícení organismů, doprovází životní procesy [17]

Látky ozářené světlem určité vlnové délky pak vyzařují další světlo o jiné vlnové délce. Jeho vyzařovaná délka je proto delší, než světelná vlnová délka látky, kterou byla ozářena. Tímto fyzikálním jevem dochází po adsorpci vnější energie k přechodu energetického stavu a to molekuly, atomu, nebo iontu ke stavu s vyšší energetickou hladinou, který nazýváme excitace. Částice excitovaná se pak nachází v takzvaném excitovaném stavu. [6]

Emise lze definovat jako určitý proces, kdy pohyb energie přes prázdný prostor, nebo médium. Emisní spektrum je tedy závislost intenzity fluorescence na určité vlnové délce, při vlnové délce budícího záření [4]

### **2.1.3 Podle délky dohasínání**

Jeden z nejstarších a nejužívanějších kriterií je dělení na fosforescenci a fluorescenci. Fosforescence a fluorescence jsou druhy luminiscence lišící se od sebe tím, zda záření po odstranění zdroje ozařování vymizí (fluorescence) nebo přetrvává (fosforescence).

#### **2.1.3.1 Fluorescence**

Fluorescence nastává při přechodu do základního vibračního stavu a do vyšších vibračních stavů  $S_0$ . Nejkratkovlnnějším pásem ve fluorescenčním spektru je tzv. přechod 0-0 ( $S_1^0 - S_0^0$ ). Při měření v párech koinciduje absorpční pás 0-0 s fluorescenčním pásem 0-0, v roztoku dochází k batochromnímu posunu fluorescence vlivem interakce s prostředím. [3]

Při nízkých teplotách se spektrum fluorescence skládá z úzkých pásů, které mají zjistit určité kombinace a vývoj vibračních modů základního elektronového stavu. Když se ale teplota zvyšuje, vibrační teplota začíná postupně vymizet a při normální teplotě toto fluorescenční spektrum vytváří několik širokých pásů.

### 2.1.3.2 Zpožděná fluorescence

Zpožděná fluorescence se dá vyjádřit jako luminiscence ze stavu  $S_1$ , která má delší dobu dohasínání danou časem, kde se molekula nachází v metastabilním triplexovém stavu. Doba dohasínání fluorescence je přibližně stejná jako doba dohasu fluorescence, která je měřena za stejných podmínek a její emisní spektrum je stejné jako emisní spektrum okamžité fluorescence. [4]

Fluorescence je jev, ve kterém nastává v případě absorpce záření o kratší vlnové délce (excitaci) a následujícím vyzářením fotonů o delší vlnové délce což znamená vykázání světla jiné barvy (emise). Je možné fluorescenci sledovat po ozáření předmětu jiným zdrojem záření, a pokud toto záření přetrvává i po odstranění zdroje záření, jedná se o fosforescenci. Fosforeskující materiály vyzařují světlo i po odstranění jeho zdroje a jeho účinky se mohou lišit trváním od minut až po hodiny, kdy světelný zdroj slouží jako nabíječka, která vrací materiálu svou energii. [7]

### 2.1.3.3 Fosforescence

Fosforescence je označována jako zářivý přechod z energeticky vyššího do energeticky nižšího stavu, přičemž stavy, mezi kterými přechod nastává, mají rozdílnou multiplicitu. Fosforescenční excitační spektrum nemusí být totožné s absorpčním spektrem, neboť mezisystémový přechod může nastávat v různých vibračních hladin stavů  $S_1, S_2, \dots$  s různou účinností. Dochází-li však k mezisystémovému přechodu pouze z termicky rovnovážného stavu  $S_1$  a je-li tento stav populován bez zřetele k tomu, do které vibrační hladiny stavu  $S_1, S_2, \dots$  excitujeme, bude kvantový výtěžek fosforescence nezávislý na vlnové délce excitačního záření a fosforescenční excitační spektrum bude s absorpčním spektrem totožné. [19]

## 2.1.4 Podle chemického složení luminoforu

Luminiscenční látky jsou takzvaní nositelé luminiscenčních procesů což znamená nositeli přeměny různých druhů energie ve světelnou energii nerovnovážného záření. Tyto látky dělíme na:

### 2.1.4.1. Plynné luminiscenční látky

Jsou to v podstatě všechny páry a plyny splňující podmínky pro vznik luminiscence. Mají diskretní energetický systém elektronů tvořících elektronový obal atomů nebo molekul. Patří sem například: jedno a víceatomové plyny a páry (Na, He, Ne, Bi, CO<sub>2</sub> aj.) a složitější organické sloučeniny jako některé aromatické, porfyrity, heterocyklické sloučeniny aj. [4]

### 2.1.4.2. Pevné luminofoxy

Luminofoxy se připravují vysokoteplotní syntézou za nepřístupu vzduchu. Složení směsí, které po vyžehání poskytují luminofoxy, zdá se být zjištěno ryze empiricky, není pro ně uspokojivé teoretické vysvětlení. Barva luminoforu je hlavně určena druhem a množstvím příměsí základního sulfidu.

Skupina anorganických luminoforů se člení do několika skupin:

- 1) Luminofoxy jsou pevné látky, které po osvětlení denním světlem, nebo UV zářením přechází do vybuzeného stavu a vrací se zvolna do základního stavu za vyzařování sekundárního záření, často viditelného pouhým okem a pozorovaného jako dohasínající luminiscence. Binární sloučeniny typu AIBVI
- 2) Binární sloučeniny typu AIIIBV
- 3) Ternární sloučeniny typu

- 4) Alkalické halogenidy
- 5) Kysličníkové luminofory
- 6) Halogenfosforečnany
- 7) Křemičitany a germanitany
- 8) K anorganickým luminoforům patří i řada dalších látek: stříbrné halogenidy AgCl, Agar, vanadičitany, uranylové soli aj.
- 9) Skla: skla nemají krystalickou strukturu, jsou amorfní, se strukturou blízkou struktuře kapalin. A jako další jsou Organické luminofory, látky které jsou schopné být luminiscenční i v kapalně a plynné fázi. Jejich chemickou podstatou jsou obvykle sulfidy prvků II. A skupiny, zvláště Ca, Sr, aktivované stopovými příměsemi dalších vzácnějších prvků (Bi, Mn, Ba, Cu). Jiné typy luminoforů jsou založeny na bazi wolfranů vápenatých, nebo sulfidu zinečnatého. [3] [4]

#### **2.1.4.3 Kapalně luminiscenční látky**

Jako luminofory v roztoku mohou fungovat pouze luminiscenční látky s diskretními centry, vázanými na samostatné molekuly, převážně tedy na organické látky. Nejdůležitější jsou roztoky luminiscenčních látek v scintilačních počítačích, kde pro dosažení dostatečného výtěžku je nutná poměrně tlustá vrstva opticky homogenního, tj. rozptylujícího luminiscenčního materiálu. Kromě toho, že rozpouštědlo nesmí chemicky ničit luminofor nebo zkracovat jeho životnost, je třeba, aby bylo propustné pro excitační záření i pro emitovanou luminiscenci. [4]

##### **Rozděluje se do 3 základních skupin:**

- 1) aromatické uhlovodíky: jsou uhlovodíky, které splňují pravidla aromaticity. Většinou mají typický, charakteristický zápach ovšem ne charakteristický znak. [20]



- 2) organická barviva: sloučeniny s takovou strukturou molekul, která jim umožňuje absorbovat světlo ve viditelné části spektra a zároveň chemickou, nebo také fyzikální spojení s barveným substrátem. Jako nositele barevnosti označujeme dvojjazebné skupiny pod názvem chromofory (skupina azo-, nitro-, nitroso-, karbonylová), které se po spojení s bezbarvou sloučeninou stanou barevné. Sloučenina obsahující chromofory se nazývá chromogen. Intenzitu zbarvení a afinitu k substrátu zvyšují auxochromy (skupina hydroxy-, amino-, alkylamino-). [21]

- 3) roztoky některých anorganických solí

Chemickou podstatu luminoforů tvoří především sulfidy prvků II.A skupiny, obzvláště Ca, Sr,, aktivované stopovými příměsemi dalších prvků (Mn, Bi, Ba, Cu). Další typy luminoforů se skládají na bázi wolfranů vápenatých, nebo sulfidu zinečnatého. Příprava luminoforů probíhá přípravou vysokoteplotní syntézy bez přístupu vzduchu. Složení požadované směsi, která poskytnou po vyžhání luminofor není zcela teoreticky vysvětleno. Barvu dosaženého luminoforu určuje množství a druh příměsí základního sulfidu. [22]

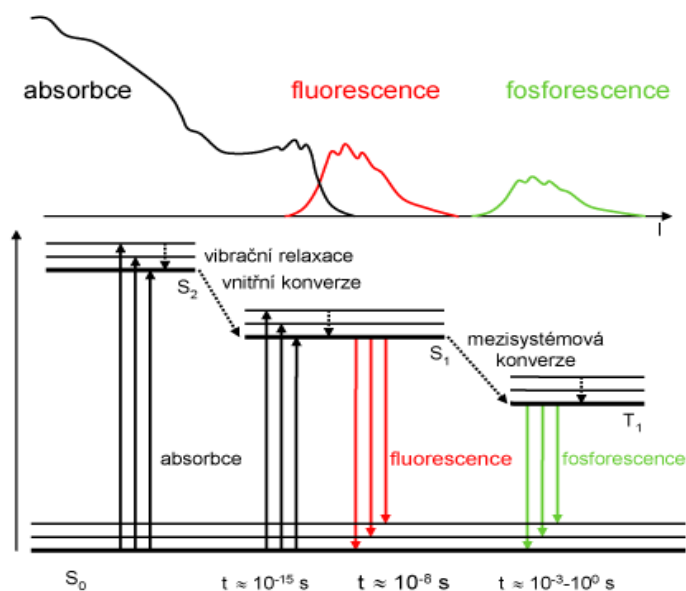
## 2.2 Luminiscenční centra

Luminiscenční centrum je útvar (molekula, atom nebo porucha, či příměs v krystalu), který je schopen absorbovat (pohlcovat) excitační energii a vyžárit ji pak ve formě světla. Nejdůležitější charakteristikou jsou však energetické stavy elektronů, mezi nimiž nastávají přechody za absorpce a které způsobují luminiscenci. [4]

„Na *obr. 3* je zjednodušené schéma zářivých a nezářivých přechodů mezi elektronově vibračními stavy složité molekuly a tvar absorpčních a emisních spekter (1-vlnová délka). Po absorpci světelného kvanta budícího záření (modré šipky) přechází elektrony ze singletního stavu  $S_0$  do excitovaných singletních stavů  $S_1$ ,  $S_2$  ... a

triplexních stavů  $T_1$ ,  $T_2$ , ... Molekula obvykle přejde z rovnovážné vibrační hladiny stavu  $S_0$  do některé z vibračních hladin excitovaných stavů. K deexcitaci molekuly dochází buď zářivými přechody (zelené a červené šipky) nebo nezářivými přechody (vnitřní konverze, mezisystémová konverze, vibrační relaxace – černé tečkované šipky). Doba trvání jednotlivých procesů je pro absorpci řádově  $10^{-15}$  s, pro fluorescenci  $10^{-8}$  s, pro fosforescenci je mnohem delší než  $10^{-8}$  s (obvykle milisekundy až sekundy), pro vibrační relaxaci  $10^{-12}$ – $10^{-13}$  s, pro vnitřní konverzi  $10^{-16}$ – $10^{-12}$  s, pro mezisystémovou konverzi  $10^{-4}$ – $10^{-12}$  s.“ [23]

Zářivé a nezářivé přechody mezi vibračními stavy elektronů



Obr. 3 Schéma zářivých a nezářivých přechodů mezi elektronově vibračními stavy složité molekuly.

## 2.3 Dvojitá Luminiscence

Luminiscence podle Kashova pravidla nastává před emisí fluorescenčního kvanta k relaxaci vibrační energie a vnitřní konverzi, proto jeho přechod vzniká při nejnižší vibrační hladině prvního excitovaného stavu.

Protože Kashovo pravidlo se vztahuje zásadně na jediný molekulový konjugovaný systém  $\pi$ , není jeho porušením ani dvojí luminiscence sloučenin typu  $A - X - B$ , kde  $A$  a  $B$  jsou samostatné neinteragující konjugované systémy, oddělené nasyceným uhlovodíkovým řetězcem. Dvojí fluorescence pak odpovídá fluorescenci z  ${}^1A^*$  a  ${}^1B^*$ ; poměr intenzity obou fluorescenčních pásů závisí potom na kvantových výtěžcích  $\phi_{FA}$ ,  $\phi_{FB}$  a na absorpčních koeficientech  $\epsilon_A$ ,  $\epsilon_B$ . [4]

### 2.3.1 Zhášení luminiscence

Zhášení fluorescence můžeme definovat jako biomolekulární proces, který snižuje kvantový výtěžek fluorescence beze změny tvaru emisního spektra. Zhášení luminiscence je proto možné rozdělit na zhášení dynamické a statické. [19]

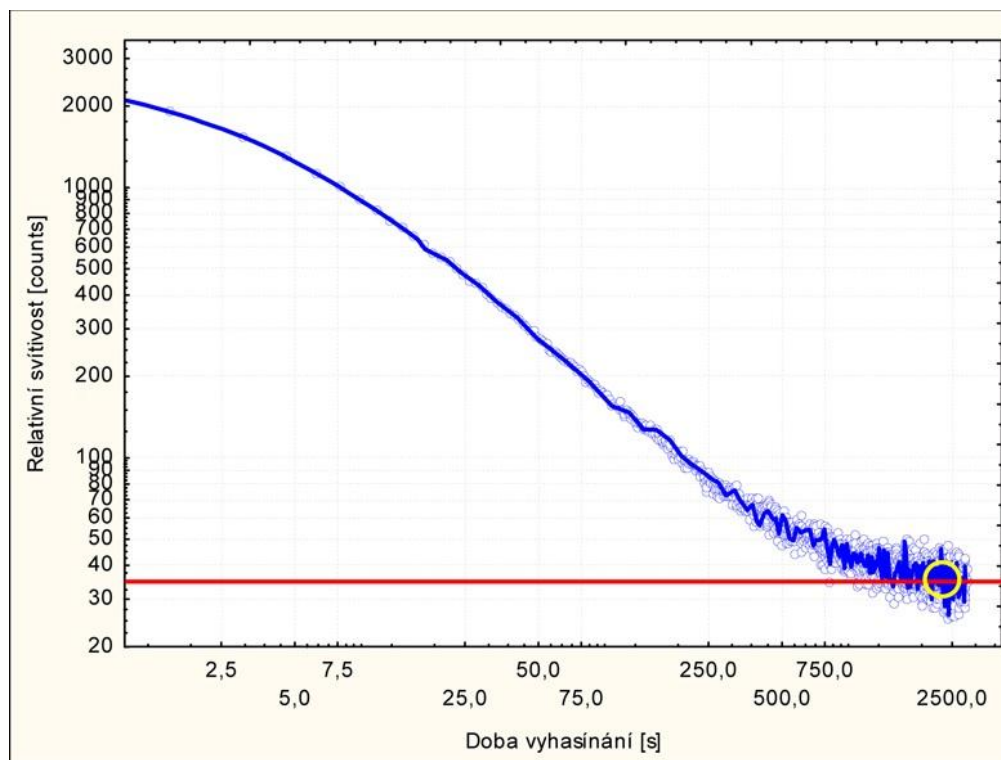
Dynamické zhášení také jinak řečeno srážkové, vzniká je-li fluorofor v excitovaném stavu deaktivován procesem jako je vznik fotosloučeniny, fotodisociace, vnitřní konverze, nebo také intermolekulárními pochody.

Fotosloučeniny a fotodisociace vznikají v případě, že molekula s nepárovými elektrony, podléhá v kapalných roztocích fluoreskujících látek chemickým změnám v důsledku své reaktivnosti. Pokud excitovaná molekula přechází do stavu základního, což je bez emise světla, tento stav nám způsobuje vnitřní konverze. Do intermolekulárních přechodů patří například nepružné látky mezi excitovanými a neexcitovanými částicemi, díky kterým se energie mení v energii vibrační srážejících se molekul. Tímto dynamickým zhášením může v luminiscenci dojít ke snižování času vyhasínání. [5] [8]

Statické zhášení vzniká v základním stavu, kdy přijde do kontaktu zhášedlo a fluorofor a tím se vytváří nefluorescenční komplex. [8]

### 2.3.2 Vyhasínání luminiscence lidským okem

Na *grafu č. 1* je zobrazena oblast vyhasínání luminiscence plastového vzorku s viditelností lidským okem, kterou znázorňuje žluté kolečko. Červeně je pak znázorněna vizuální hranice, která je obvyklá pro hodnocení luminiscenčních materiálů a jedná se v podstatě o stonásobek absolutní hranice citlivosti lidského oka na světlo. [9]



*Graf č. 1 Výsledky měření vyhasínání luminiscence vzorku z plastu znázorněné formou log-log diagramu.*

## 3 Využití Luminiscence

V současné době je použití luminiscence stále častější a přirozenější. Nalezla své využití v mnoha směrech, jako jsou například luminiscenční diody, stínítka obrazovek, v lékařství se to týká luminiscenčních sond a značek. V textilním průmyslu jde především o luminiscenční vlákna jako optická, fotonická krystalová, elektronická atd. a také ve formě pigmentů a barviv, která se aplikují na textil, nebo samotná vlákna.

### 3.1 Luminiscenční materiály

Z předešlých kapitol víme, že luminiscenční materiály se rozdělují jako organické, anorganické, pevné a kapalné.

Luminofoxy se používají v textilním průmyslu na transparentní oděvy, označování materiálů při ozáření denním či ultrafialovým zářením a samozřejmě pro ochranné produkty. Pod pojmem transparentní se rozumí vlastnost určitého objektu, který je schopen přenášet světlo bez jeho rozptýlení, Barva je spojena s optickými vlastnostmi jak daného objektu, tak i s vlastnostmi objektů okolních. Luminofoxy vyráběné také jako luminiscenční inkousty jsou používány pro pracovní oděvy pro zviditelnění při špatné viditelnosti. Optoluminiscence znamená jev, který vzniká v optických vláknech, která se využívají při výrobě obrazů, obrazovek a jiných výrobcích. [14] [15]

Další využití luminoforů je v podobě elektroluminoforů, které při využití jako příze pro výrobu textilních oděvů pro zlepšení viditelnosti. Tyto luminiscenční materiály lze vidět v technickém odvětví jako je například u dopravních značek, které se označují jako retroreflexní. [14]

#### 3.1.2 Glow yarns, neboli zářivé příze

Jedná se o patent Švédské firmy Swicofil pro revoluční systém vytváření světelných vláken pomocí míchání, tavení a protlačování polyesterových čípků s fotoluminiscenčními pigmenty. Jsou to „Zářivé příze“ se silným světlo pohlcujícím, vyzařujícím luminiscenčním materiálem, které svítí automaticky po absorpci slunečního světla po dobu 3 minut, nebo umělého světla po dobu 20 minut. Jedna hodina umožňuje přízím svítit nepřetržitě až 3 hodiny. Materiál je toxicky nezávadný a bez jakýchkoliv škodlivých látek a má velký okruh využití jako například: vyšívací, šicí nit, tkaní, oděvy, boty lana, popruhy a řetězce, stany, korálky, knoflíky, elektrické reklamní tabule a dokonce i sprej na vlasy a lak na nehty. [23]



*Obr. 4 Glow yarns neboli žhářivé příze od firmy Swicofil.*

## 4 Vnímání vyhasínání luminiscence lidským okem

### 4.1 Fyziologie oka

Lidské oko je orgánem nejdůležitějšího smyslu – zraku. Pod tímto pojmem rozumíme vnímání světla, barev, tvarů, kontrastu, hloubky, rozlišovací schopnost a adaptaci. Světlo proniká optickými prostředími oka (rohovka, komorová voda, čočka, sklivce) na sítnici, kde vzniká obrázek pozorovaných předmětů. V sítnici se nacházejí světločivné elementy a to jako tyčinky a čípky.

Tyčinky jsou určeny pro černobílé vidění a také představují většinu ze smyslových buněk sítnice, kde registrují množství světla, které na ně dopadá. Celkový počet tyčinek je kolem 130 miliónů a složení tvoří tři segmenty: světločivý úsek, metabolický úsek a synaptický úsek. V jejich segmentu se nacházejí ploché membránové disky (600-1000), ve

kterých je uloženo barvivo rhodopsin. V tomto barvivo se při dopadu světelných paprsků mění barva, a tím vyvolává takzvané nervové vzruchy.

Čípků je kolem 6-7 miliónů, nacházejí se především ve žluté skvrně a jsou určeny pro vnímání barev. Jejich segment má povrchové membrány, ze kterých vybíhají hřebenovité výběžky. V těchto membránách je uloženo barvivo se nazývá iodopsin a má maximální citlivost na červené světlo. Barvivo uloženo v čípkách má odlišné typy, které mají citlivost na světlo o různé vlnové délce a tím vznikne diferenciovaná citlivost k barvům.

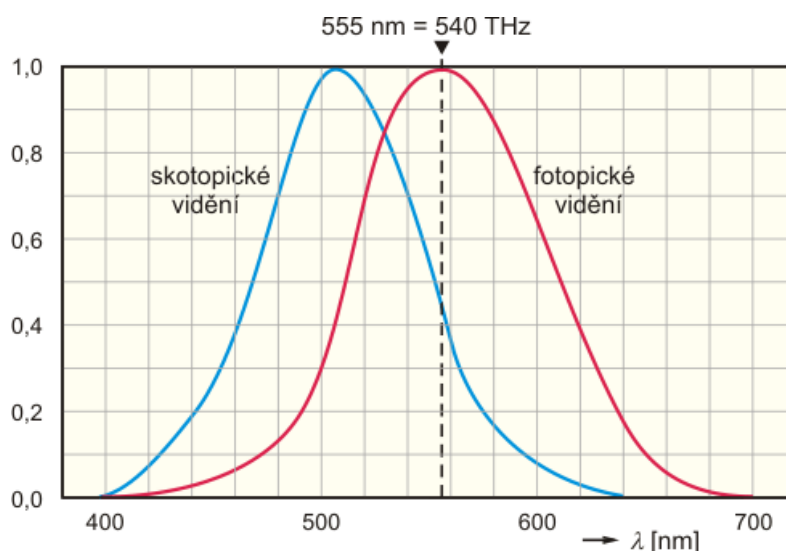
Optická prostředí světelné paprsky nejen propouštějí, ale i lámou přes pravidelně zakřivené plochy rohovky a čočky. V místě, kam dopadlo na sítnici světlo, dojde k podráždění a vzniklý vzruch je převeden zrakovou dráhou do zrakového centra v mozku. Podle toho, na které místo dopadl paprsek pozorovaného předmětu, mluvíme o dvojitým vidění.

1.centrální, kdy paprsky dopadají na žlutou skvrnu, a 2. periferní, kdy paprsky dopadají mimo žlutou skvrnu. Dojde-li k podráždění smyslových buněk v periférii sítnice, bezděčně pohneme očima tak, aby se obraz zobrazil na žluté skvrně, místě nejostřejšího vidění. Zornice jako optická clona reguluje množství světla vstupujícího do oka. Její průměr se normálně pohybuje mezi 2-4mm. Při světle se zužuje, ve tmě rozšiřuje. [10] [11]

## **4.2. Spektrální a fotometrická citlivost lidského oka**

Vidění je zprostředkováno lidským okem, které je citlivé na světlo z viditelné oblasti spektra (380 – 720nm). Viditelné spektrum se dělí na světlo červené barvy (720 – 627nm), oranžové barvy (627 – 589nm), žluté barvy (566 – 495nm), modré barvy (495 – 436nm), a fialové barvy (436 – 380nm), Oko není přizpůsobeno jen k vnímání charakteru dopadajícího světla (intenzita a barva dopadajících světelných paprsků, směr dopadajících světelných paprsků), vytváří i vjem tvaru pozorovaných předmětů. Oko vnímá kontrast,

barvu i tvar. Informace zprostředkovaná z oka je doplněna o předchozí zkušenosti pozorovatele a zároveň o informace získané z ostatních smyslových orgánů. (viz-základy měření barevnosti 1 díl.) Každý barevný vjem je charakterizován barevným tónem, sytostí a jasem. Významně se uplatňuje hladina okolního osvětlení. Při jejím snížení rozeznává naše oko lépe předměty v barvě modré než červené. Posun citlivosti v rozdílných podmínkách osvětlení potvrzuje činnost dvojích světločivných buněk. Při hladinách běžného denního osvětlení se uplatňují čípky a toto vidění označujeme jako **fotopické**. Při poklesu osvětlení pod určitou hranici již nejsou čípky dostatečně podrážděny a funkci přebírají tyčinky, toto vidění označujeme jako **skotopické**. [12]



Obr. 5 Normalizovaná křivka citlivosti lidského oka, červená křivka pro denní, tzv. fotopické vidění a modrá křivka pro noční, tzv. skotopické vidění. Křivka pro fotopické vidění má maximum na frekvenci 540 THz (vyznačeno čárkovanou přímkou), použité v současně platné definici jednotky svítivosti.

#### 4.2.1 Purkyňův jev

Při snížení intenzity světla se postupně mění i relativní citlivost lidského oka k jednotlivým barvám a jeho maximální spektrální citlivost se posouvá blíže ke kratším vlnovým délkám. Pokud budeme mít vedle sebe dva stejně tmavé obrazce, avšak každý



jiné barvy, budou se nám jednotlivé odstíny zdát při slabém, nebo silném osvětlení odlišné. Je to způsobeno tím, že při slabém osvětlení používáme jen tyčinky nikoliv čípky.

#### 4.2.2 Akomodace a adaptace

**Akomodace** je schopnost oka vidět předměty ostře na různou vzdálenost. Rozmezí, ve kterém vidí oko jednotlivé body ostře, se nazývá akomodační oblast.

Pojem **Adaptace** je schopnost oka přizpůsobit se různé intenzitě světla, schopnost pozorovat předměty intenzivně i málo osvětlené. Rozeznáváme adaptaci na světlo a na tmu (nauka o zraku).

**Adaptace na světlo** – znamená přechod ze tmy na světlo, kdy jsou oči oslněny, ale mají schopnost rychlého přizpůsobení a její poruchy nemají praktický význam.

**Adaptace na tmu** – znamená přechod ze světla do tmy. Je komplikovanější, a proto má z hlediska praktického velký význam. U zdravého člověka trvá kolem půl hodiny, kdy nepomáhá jen rozšíření zornice, ale další adaptační děje probíhají v sítnici, kde jsou biochemické pochody podstatně pomalejší.

## II. Experimentální část

Experimentální část se zabývá podrobným popisem použitých vzorků a barev materiálu, způsobu nanášení luminiscenčního pigmentu a jeho složení. Dále pak provedení studie při porovnání třech různých způsobů měření vyhasínání luminiscence s ohledem na barvu použitého textilního substrátu.

### 5 Příprava vzorků

Pro studii vyhasínání luminiscence s ohledem na barvu materiálu byl zvolen jako podklad bavlněná textilie pořízené ve velkoobchodní a maloobchodní prodejně textilního zboží a galanterie FLEX - TEX CENTRAL STOCK, spol. s r.o. Po potištění textilie připraveným luminiscenčním pigmentem a následné fixaci bude zkoumána intenzita záření a dohasínání luminiscence s ohledem na barvu podkladu daného materiálu.

#### 5.1 Textilní materiál

Jako materiál je zvolena 100% bavlna v plátňové vazbě, a to vzhledem k jejím dobrým vlastnostem z hlediska spotřebitele jako:

- Dostava textilie: Osnova: 24 nití na 1cm
- Útek: 24 nití na 1cm
- Plošná hmotnost:  $\rho_s = 0,000011945 \text{ kg/m}^{-2}$
- Objemová hmotnost:  $\rho_v = 0,000748 \text{ kg/m}^{-3}$
- Tloušťka materiálu: 0,26 mm
- Prodyšnost: množství vzduchu:  $q = 2\,520 \text{ l/h}$ , prodyšnost  $R = 350 \text{ mm/s}^{-1}$

- Pórovitost  $p = 76,92 \%$
- Dobrá pevnost v tahu (245–373 mN/tex)
- Dobrá pevnost v oděru i za mokra, příjemný omak a dobrá savost

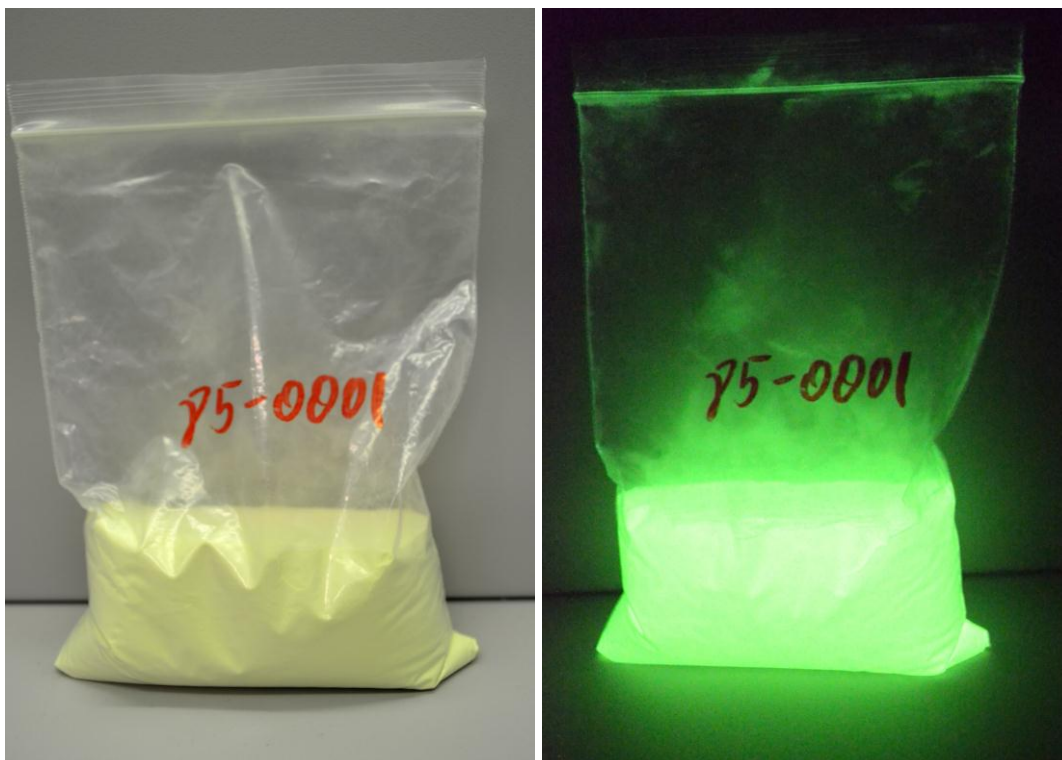
Textilie je v zastoupení sedmi barevných odstínů : Bílá, černá, modrá, zelená, žlutá, červená a hnědá. Je zde potřeba zdůraznit, že na bílý vzorek byl již při výrobě použit opticky zjasňující prostředek, což by mohlo mít vliv na délku a intenzitu luminiscenčního záření.

## 5.2 Pigment

Použitý pigment je pořízen od firmy **Shandong Lunbo Luminous Products Co.,Ltd.** Tato firma pro výrobu produktů používá vzácné zeminy, fotoluminiscenční pigment hlinitan-silikátový a aktivační alkalické zeminy, které mají dlouhou účinnost a zároveň jsou šetrné k životnímu prostředí. Ujedná se o žlutý prášek, který po nasvícení mění svou barvu na zelenou a jeho svítivost je závislá na velikosti částic. „Má vysokou počáteční svítivost, dlouhou dobu dosvitu (test podle normy DIN67510, jeho dosvit čas 10000 minut). Jeho světlo je odolné proti stárnutí a nese určitou chemickou stabilitu. Jedná se o nový typ ekologicky 33 fotoluminiscenčního pigmentu se znaky netoxicity, bez radioaktivity, nehořlavosti a nevýbušnosti. Ten může být použit pro mnoho průhledných nebo průsvitných médií, jako jsou plasty, barvy, glazury, sklo, tisk nebo na výrobu světelných produktů. S dobrým uvedením a zvýrazňujícími účinky ve tmě. Může být široce používán pro nouzové značení, spínače, smalt štítky, dopravní značky, hračky, ruční práce, hodiny, textilní vybavení hasičů a armády atd.“ [9] [13]

Použitá fotoluminiscenční směs pod názvem Permalight je složena z zinko-sulfidových krystalů, které se vytvářejí za vysokých teplotách, má odolnost ve vodě a alkalických roztocích, jelikož mají kolem sebe ochranný povlak. Luminiscenční směs je uložena v ochranných obalech pro poskytnutí ochrany proti chemikáliím a dalším

nežádoucím vlivům. Fotoluminiscenční směs se nachází v žluto-zelené části spektra a to v místě kdy je lidské oko v nejcitlivější části až k místu naprosté tmy což umožňuje pozorovateli se přizpůsobit pro vidění světlých kontur. Hustota se pohybuje přibližně okolo  $3.4\text{g/cm}^3$ . Komponenty chemického složení jsou: Sr Al<sub>2</sub> O<sub>4</sub>. [9]



*Obr. 12 Fotografie použitého luminiscenčního prášku v normálním a vybuzeném stavu.*

### 5.3 Potisk vzorků

Potisk bavlněných vzorků materiálu probíhal v chemické laboratoři, kde byl připraven barevný luminiscenční prášek a záhustka. Tuto záhustku nazýváme komplexní jelikož již obsahuje všechny potřebné přísady nutné k tisku, a díky které má tiskací pasta potřebnou konzistenci, potlačuje kapilaritu textilie, a tím zajišťuje ostrost tisku.

Složení záhustky:

- 0,02 kg močovina
- 0,81kg voda
- 0,01kg amoniaku 25%
- 0,14 kg pojidlo
- 0,02 kg syntetické zahušťovadlo

Pro měření bylo rozhodnuto použití dvou koncentrací pasty a to přidáním většího a menšího množství luminiscenčního prášku kdy:

1. tisk:  $250 \text{ g zahušťovadla} + 50 \text{ g prášku} = 200 \text{ g.kg}^{-1}$

2. tisk:  $250 \text{ g zahušťovadla} + 150 \text{ g prášku} = 600 \text{ g.kg}^{-1}$

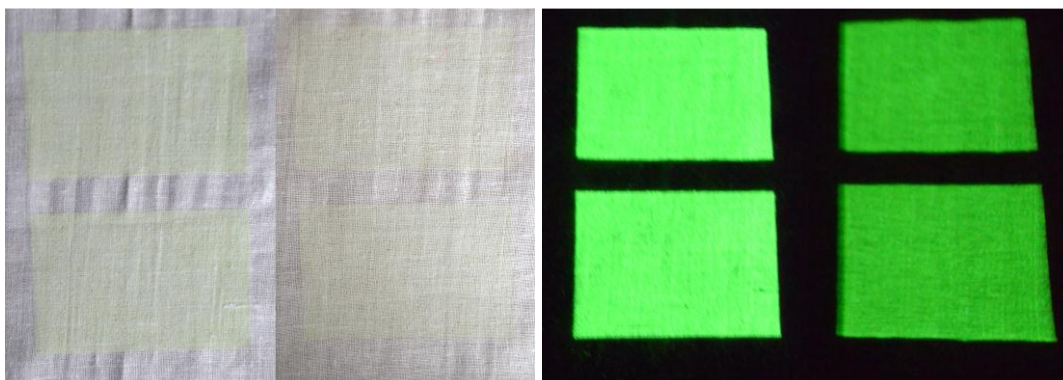
Potřebné množství prášku bylo nasypáno do kádinky se zahušťovkou, a poté se pasta nechala půl hodiny míchat na speciálním přístroji, aby bylo zajištěno dokonalé spojení obou přísad. Hotová pasta se pak postupně a šetrně nanášela pomocí tiskacího síta na připravený materiál, šablonou pro čtyři obdélníky o velikosti 6 x 3,5 cm. Po nanesení pasty se materiál přenesl do sušicí skříně, kde se za potřebné teploty nechal vysušit.

V závěru vyšlo 7 barevných vzorků potisknutých se slabší koncentrací substrátu (podklad N ) a 7 stejně barevných vzorků s koncentrací silnější, což poskytlo další možnost zkoumání a porovnání rozdílů mezi vyhasínáním luminiscence nejen mezi barevnými podklady, ale také mezi jednotlivými strukturami daného potisku.

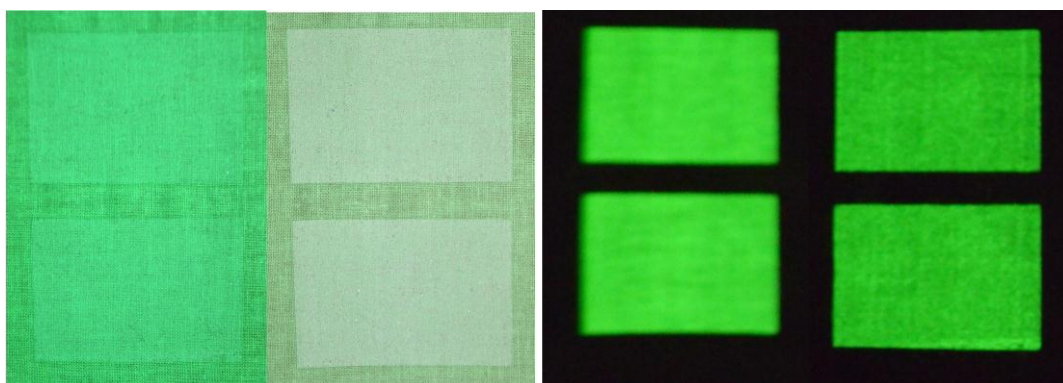
## 5.4 Použité vzorky

Uvedené fotografie představují použité vzorky materiálu, kdy na straně levé jsou materiály za denního světla a na straně pravé po nasvícení v kolorimetrické skříně

GretagMacbeth SpectraLight ® III. Jednotlivé vzorky jsou dále rozděleny na silnější (levá strana) a slabší N (pravá strana) koncentraci substrátu, což nám umožňuje vidět rozdíly intenzity záření jak mezi nánosy potisku, tak i mezi jednotlivými barvami použitého materiálu.

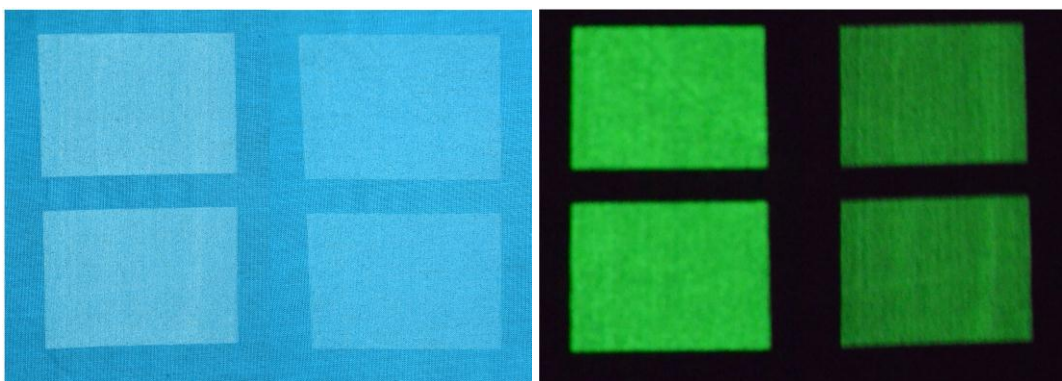


*Obr. 13 Vzorek bílé barvy.*



*Obr. 14 Vzorek zelené barvy.*

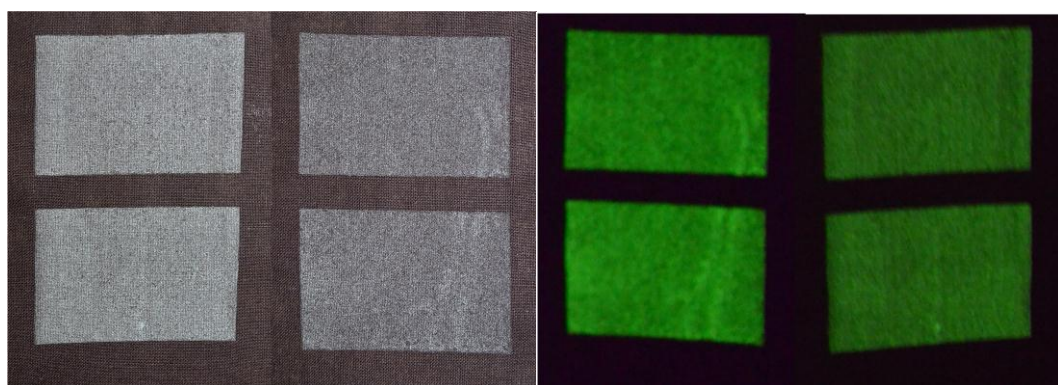




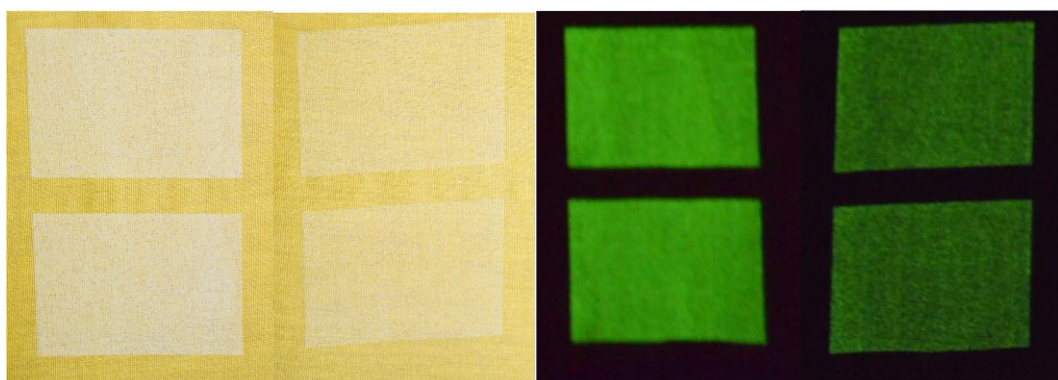
*Obr. 15 Vzorek modré barvy.*



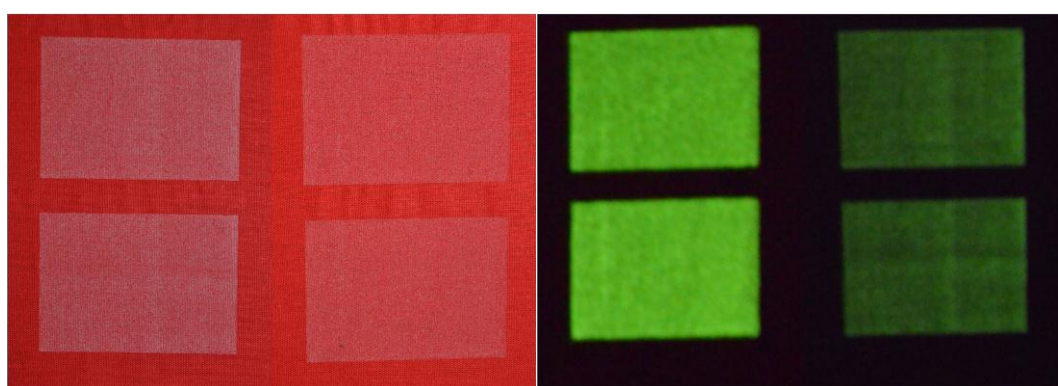
*Obr. 16 Vzorek černé barvy.*



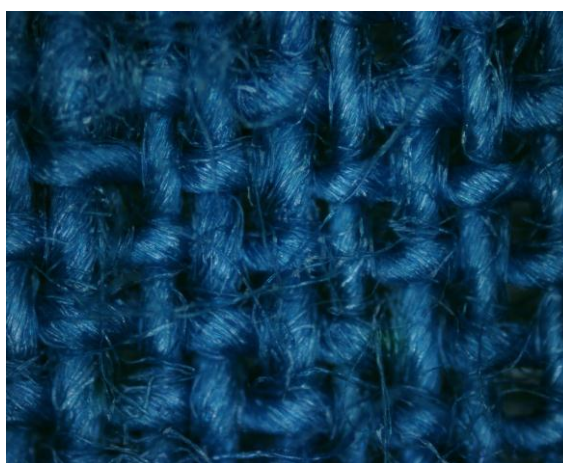
*Obr. 17 Vzorek hnědé barvy.*



*Obr. 18 Vzorek žluté barvy.*

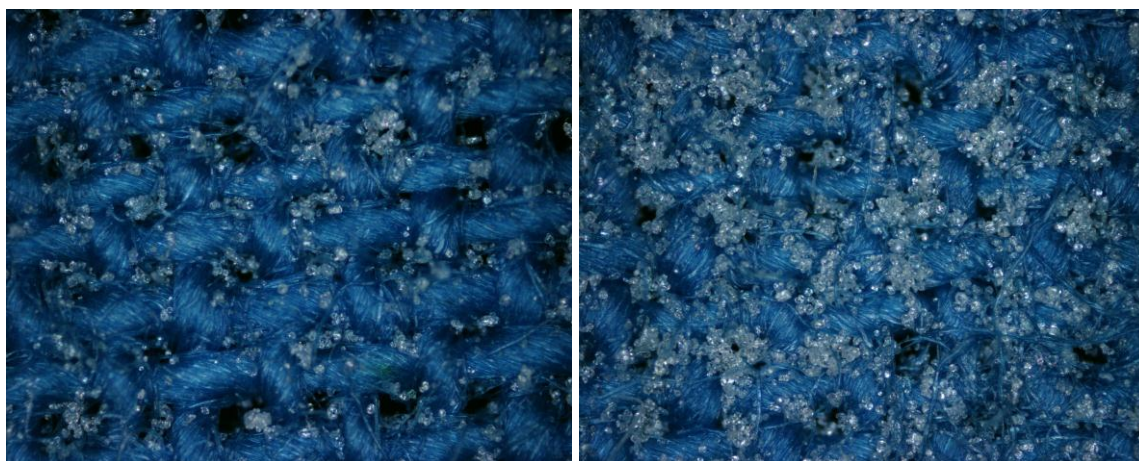


*Obr. 19 Vzorek červené barvy.*



*Obr. 20 Struktura vzorku modré barvy z pohledu pod mikroskopem.*





a)

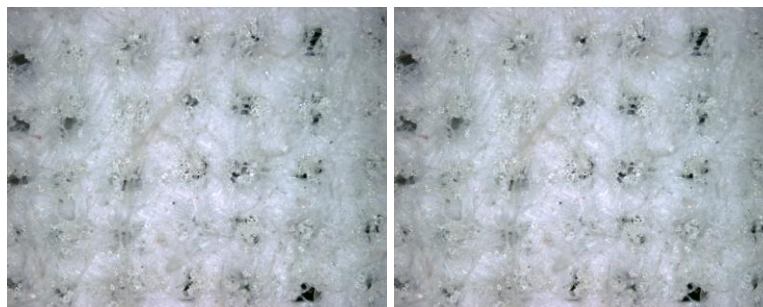
b)

*Obr. 21 Struktura vzorku modré barvy z pohledu pod mikroskopem, který vyjadřuje*

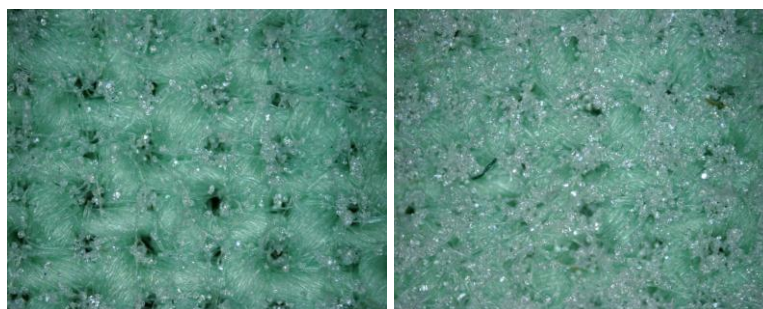
a) potisk slabší koncentrace substrátu N,  $200\text{g.kg}^{-1}$

b) potisk silnější koncentrace substrátu:  $600\text{g.kg}^{-1}$

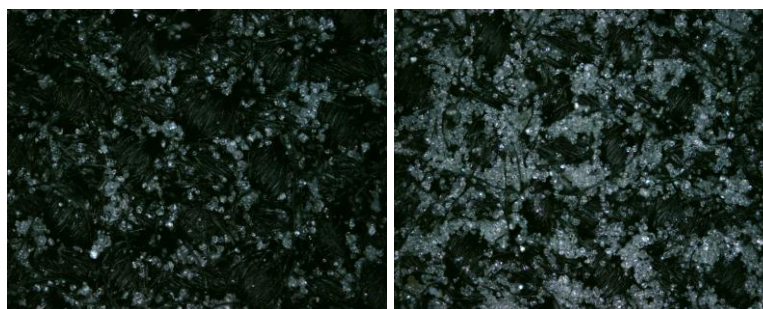
Na fotografiích je možné vidět znázornění struktury použité textilie z pohledu mikroskopem a následné znázornění uchycení jednotlivých částí pigmentu do struktury tkaniny, kde je možné vidět rozdíl mezi obsahem nánosů a způsob jakým se pigment spojí s vlákny a zanese se do vazby.



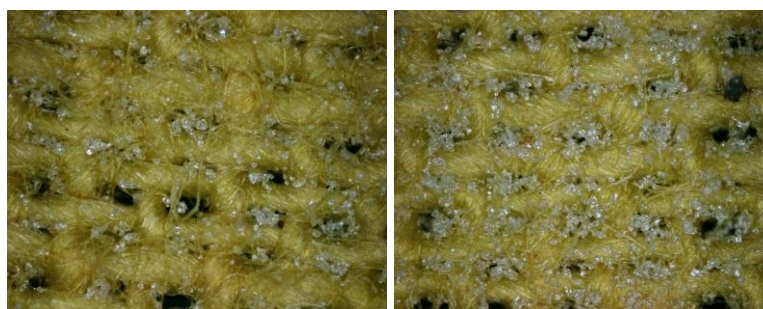
*Obr. 22 Struktura vzorku bílé barvy.*



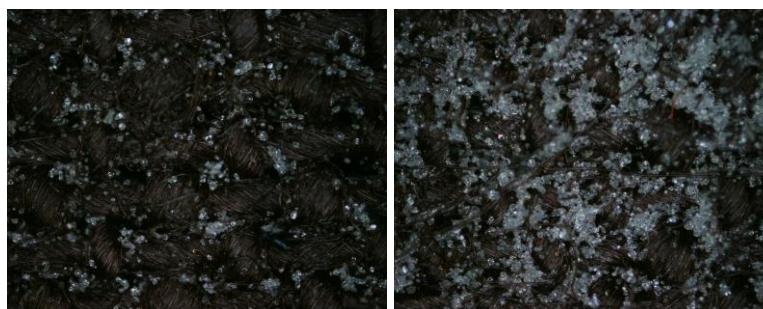
*Obr. 23 Struktura vzorku zelené barvy.*



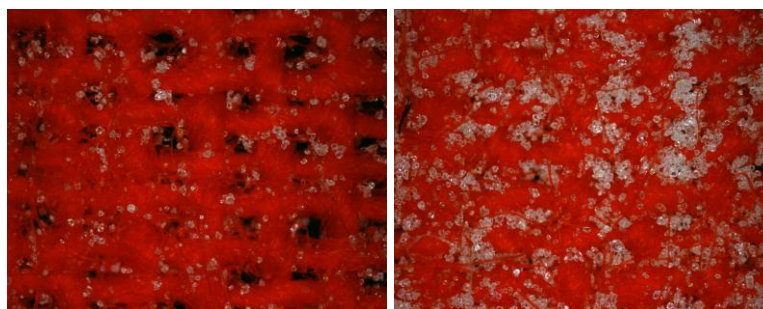
*Obr. 24 Struktura vzorku černé barvy.*



*Obr. 25 Struktura vzorku žluté barvy.*



*Obr. 26 Struktura vzorku hnědé barvy.*



*Obr. 27 Struktura vzorku červené barvy.*

## **6 Měření pomocí PR-740 SpectraScan® Spectroradiometer**

Pro hlavní měření dohasínání luminiscence byl použit přístroj PR-740 SpectraScan Spectroradiometer, jehož spektrální rozsah činí 380-780 nm, díky svým funkcím pro proměny spektrálního pásma. Tento přístroj byl připojen k PC pomocí režimu pro vzdálené příkazy. Obsahuje velikosti bajtů 2,4 a 8 Nm, díky čemuž bylo možné měřit vzorek s větší přesností.





*Obr. 28 Použitý přístroj PR-740 SpectraScan Spectroradiometer*

## 6.1 Postup měření

Měření probíhalo v zatemněné místnosti, kde po veškeré přípravě zařízení spojené s nastavením, zaostřením, připojení k programu na PC a zkoušce pro jistotu správných výsledků nechal každá z použitých 14 vzorků potištěného materiálu nasvítit po dobu 5 minut.



*Obr. 29 Fotografie znázorňující osvit vzorků silné koncentrace substrátu 600g/l  
v kolorimetrické skříni GretagMacbeth SpectraLight ® III*

Nasvícení luminiscenčního tisku bylo prováděno v kolorimetrické skříni GretagMacbeth SpectraLight ® III pomocí denního D65 a UV světla. Pro měření byl zvolen excitační čas 5 minut. Následně byla kolorimetrická skříň vypnuta a ve stejné chvíli také spustilo měření Spectrascanem, který postupně po dobu 10 minut snímal veškeré potřebné hodnoty. Díky tomu bylo poté možno všechny údaje postupně zpracovat a vytvořit grafy či tabulky pomocí programu Microsoft Excel.

## **6.2 Výsledky měření**

### **6.2.1 Výsledky měření pro radianci**

Na *grafu č. 1* lze vidět, jaký je vztah zářivého toku emitovaného plochou zdroje jednotlivých podkladů v závislosti na čase.

Záři (Radiance) lze zjistit vzorcem:

$$L_e(\Omega) = \frac{d^2\Phi_e}{dA d\Omega \cos \theta} = \frac{I_e(\Omega)E_e(A)}{\cos \theta} \quad [\text{W}/(\text{sr m}^2)]$$

Kde:

$L$  je zář (W na m<sup>2</sup> na steradián),

$\Phi_e$  je radiometrický zářivý tok zdroje (W),

$\theta$  je úhel mezi kolmicí na uvažovanou rovinu a měřeným směrem,

$A$  je plocha povrchu (m<sup>2</sup>),

$\Omega$  je prostorový úhel (steradián),

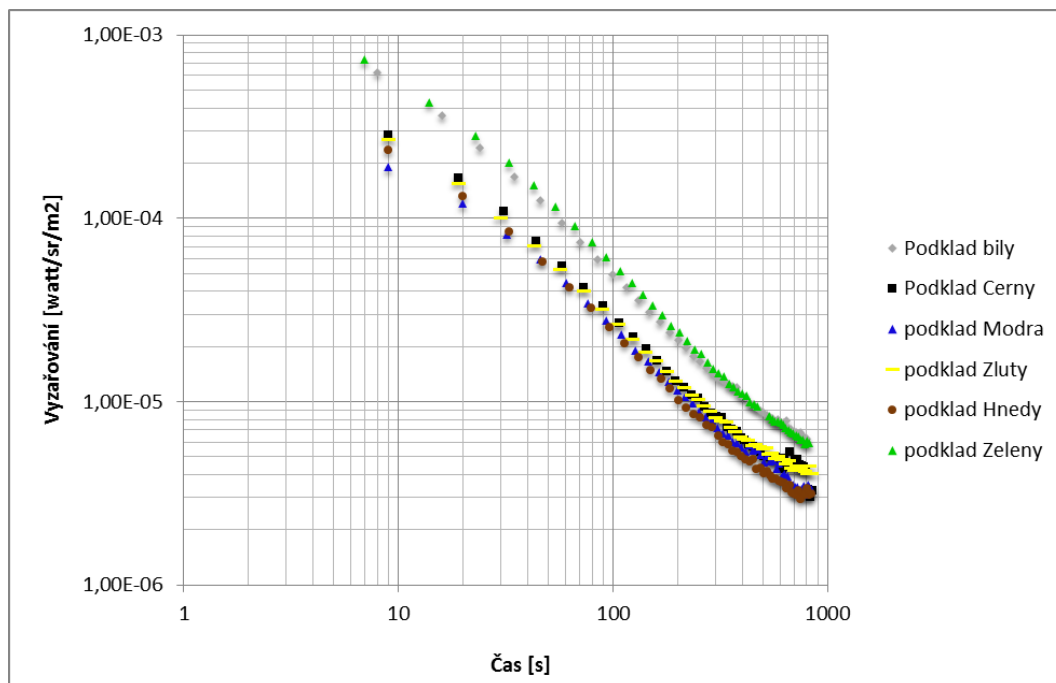
$I_e(\Omega)$  je zářivost,

$E_e(A)$  je ozáření.

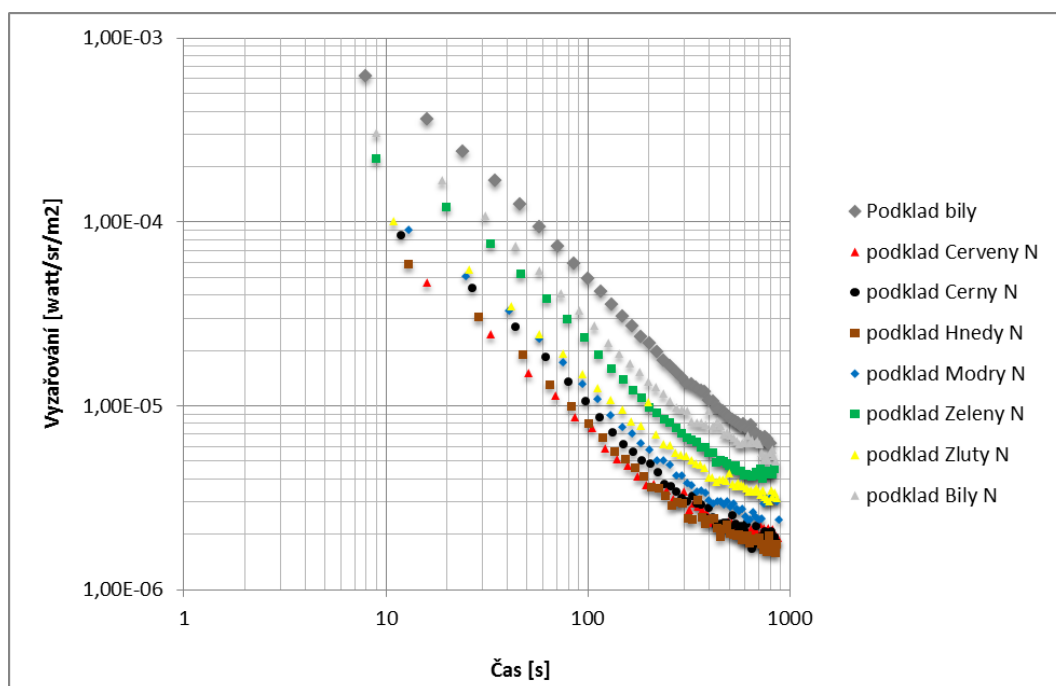
Je zde viditelné, že vzhledem k intenzitě zářivého toku pigmentu v závislosti na barvě podkladu pro luminiscenční potisk má největší intenzitu podklad zelené barvy. Výsledný „první“ nejzářivější materiál, který překonal i když ne o moc, námi očekávanou bílou vzhledem k tomu, že bílý podklad prošel již před měřením úpravou opticky zjasňujícího prostředku, která se provádí speciálními fluorescentními barvivy, tudíž měl také větší předpoklad pro vykázání nejlepších dosažených výsledků. Další podklad blížící se bílé a zelené barvě je podklad černý společně s postupně upadajícím žlutým, hnědým a modrým. Jednoznačně nejnižší intenzitu vykazuje podklad barvy červené.

*Graf č. 2* ukazuje výsledky měření intenzity toku emitovaného plochou zdroje v závislosti na čase pro vzorky materiálu s luminiscenčním potiskem slabší koncentrace N 200g.kg<sup>-1</sup>, ve srovnání s bílým podkladem silnějšího nánosu 600g.kg<sup>-1</sup> potisku. V tomto případě si lze všimnout, že zde hlavní roli nejzářivějšího vzorku hraje podklad bílé barvy a až po ní barva zelená. Následně jsou za sebou postupně opět podklady s barvou žlutou,

modrou, černou, hnědou a vzorek barvy červené se na rozdíl od Grafu číslo 1. přiblížil k ostatním a nevykazuje tak výrazný rozdíl.



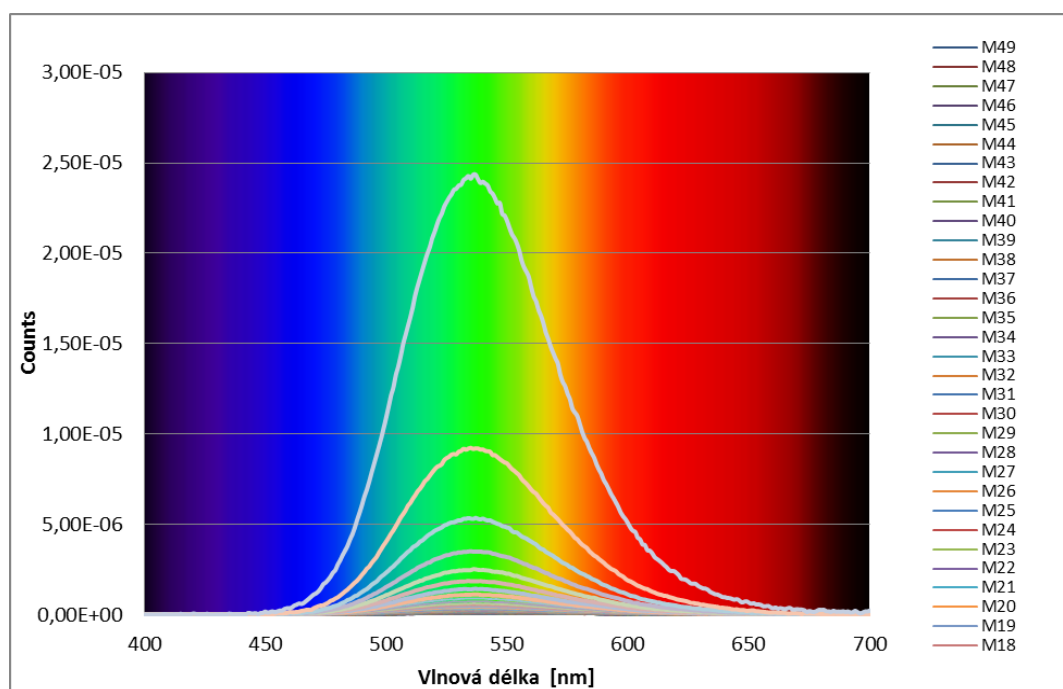
Graf č. 2 Závislost intenzity záření na čase. (Všechny vzorky silná koncentrace  $600g.kg^{-1}$ )



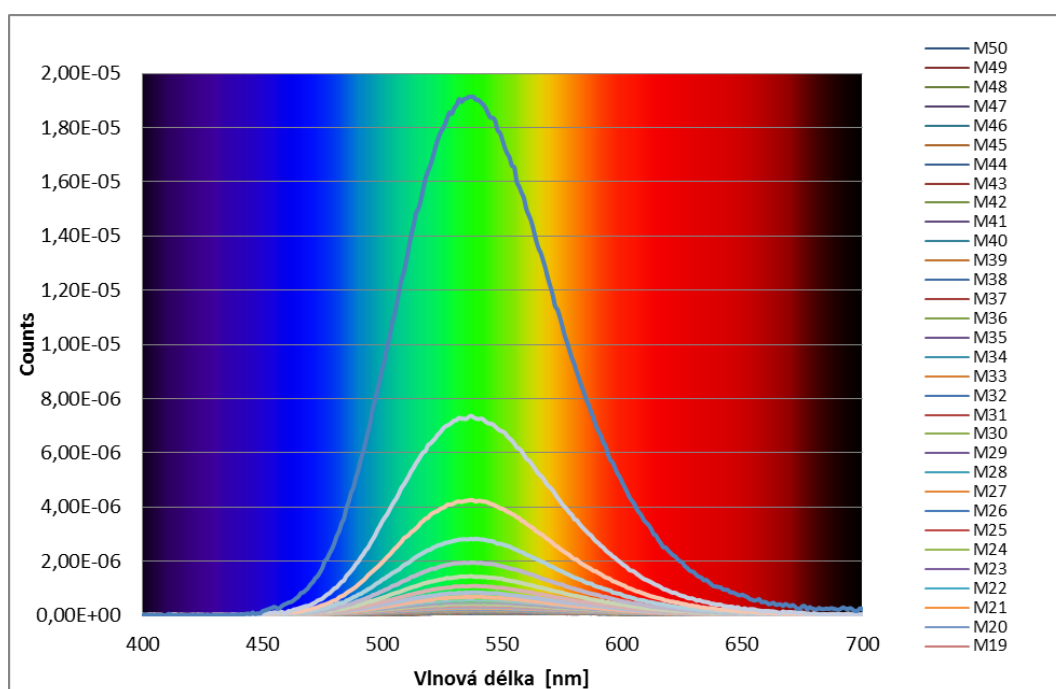
*Graf č. 3 Závislost intenzity záření na čase. (Všechny vzorky slabší koncentrace N)*

### 6.2.2 Výsledky měření pro intenzitu vyzařování – silná koncentrace substrátu – 600 g/kg<sup>-1</sup>

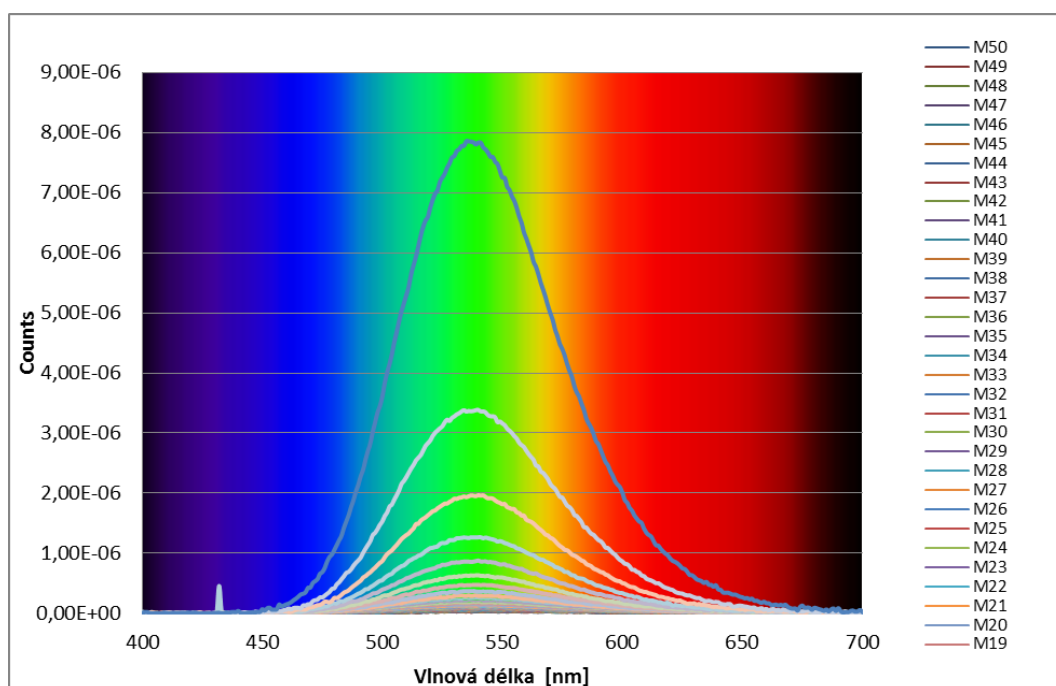
Graf č. 3-9 znázorňuje, jaká je závislost intenzity naměřeného vzorku na vlnové délce v určitých časových intervalech u jednotlivých podkladů zvlášť (silný potisk, 600g/l). Po zahájení měření přístrojem Spectrascan se snímání intenzity rozdělilo při délce 10 minut na 50 snímků, což znamená, že v jedné minutě vzniklo 5 nasnímaných hodnot. Každá tato hodnota znázorňuje jednu linii zobrazenou na grafu a celkové seskupení těchto linií pak zcela jasně ukazuje, jakým způsobem probíhalo postupné vyhasínání intenzity vyzařování luminiscence na daném podkladu. Výsledky nám dokazují, že opět největší vyzařovanou intenzitu vykazuje vzorek se zeleným podkladem, poté následuje pořadí stejné jako u grafu číslo 1. (bílý, černý, žlutý, hnědý, modrý, červený)

*Graf č. 4 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – zelený podklad*

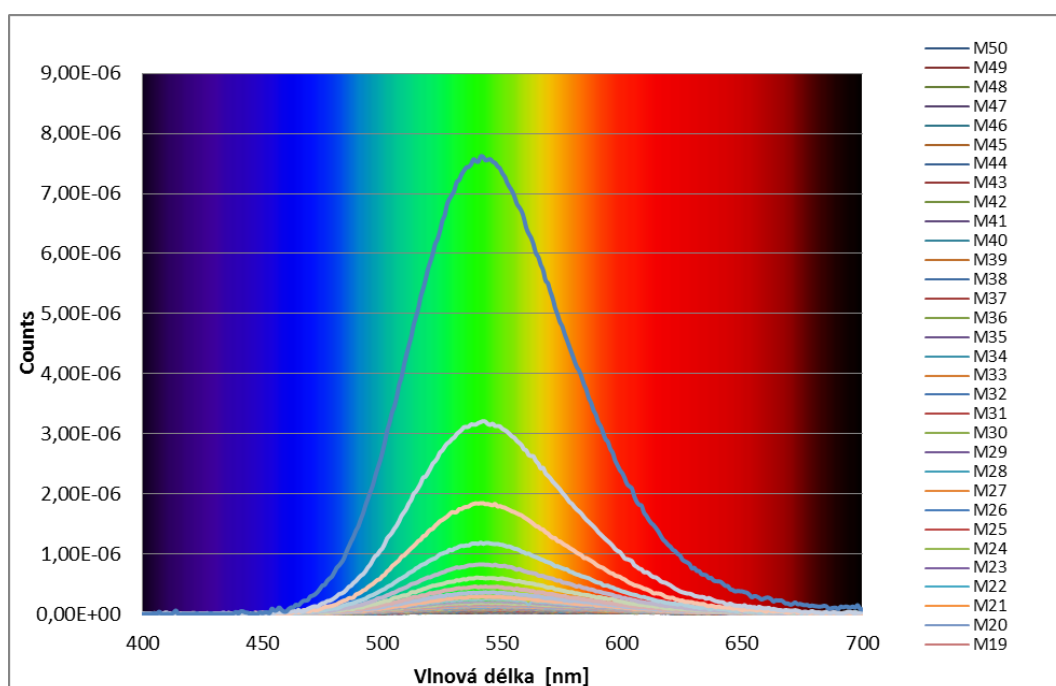




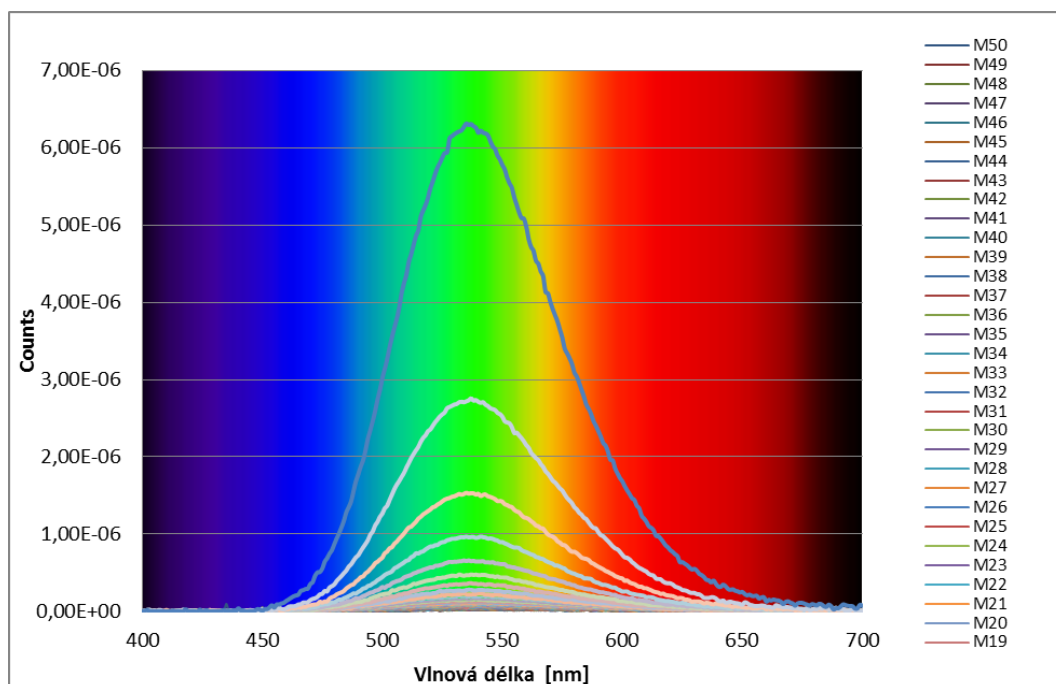
Graf č. 5 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – bílý podklad



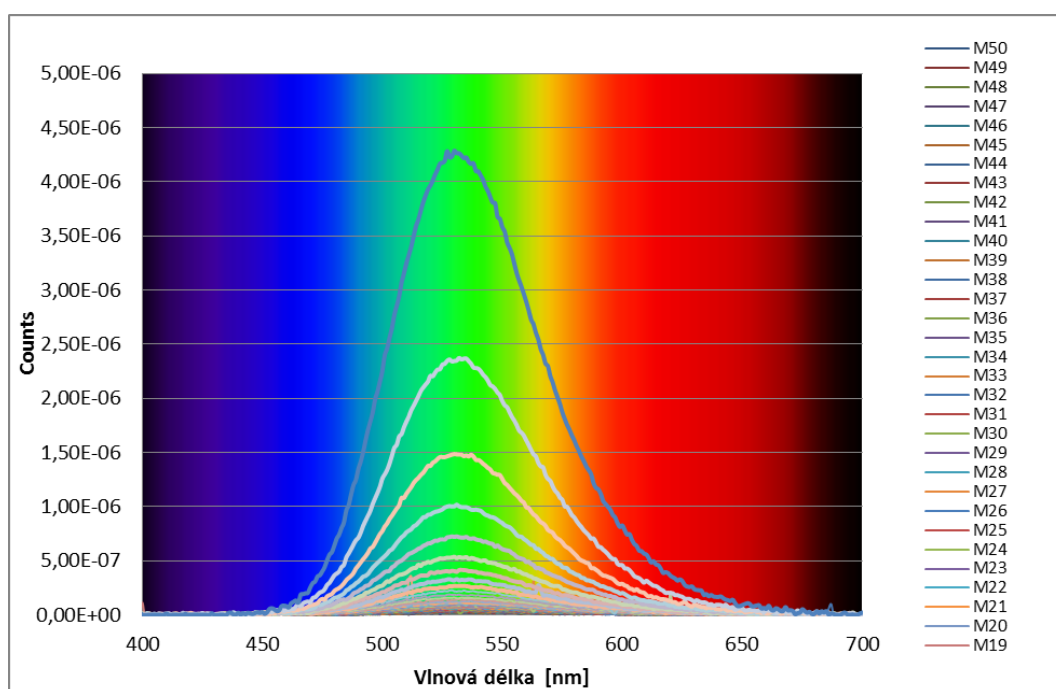
Graf č. 6 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – černý podklad



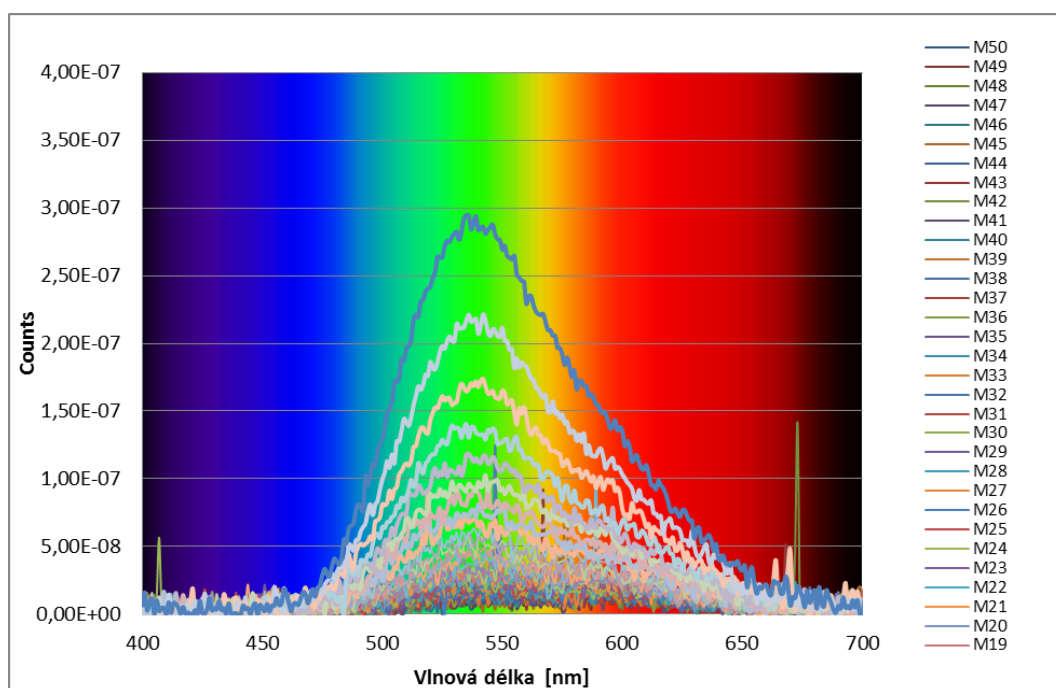
Graf č. 7 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech –žlutý podklad



Graf č. 8 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech - hnědý podklad



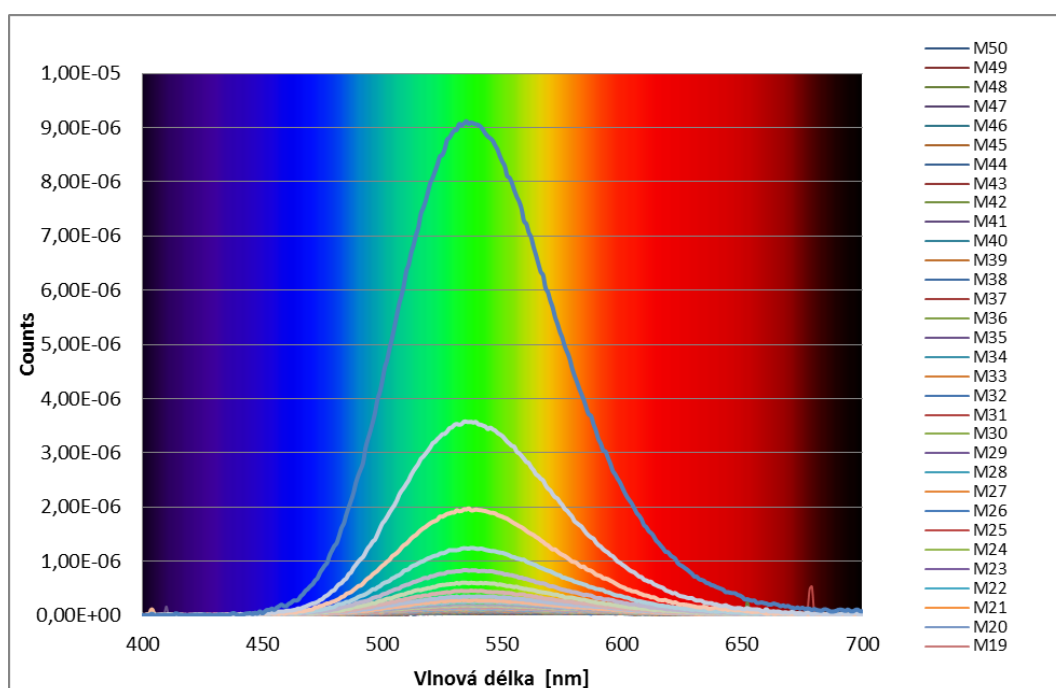
Graf č. 9 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – modrý podklad



Graf č. 10 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – červený podklad

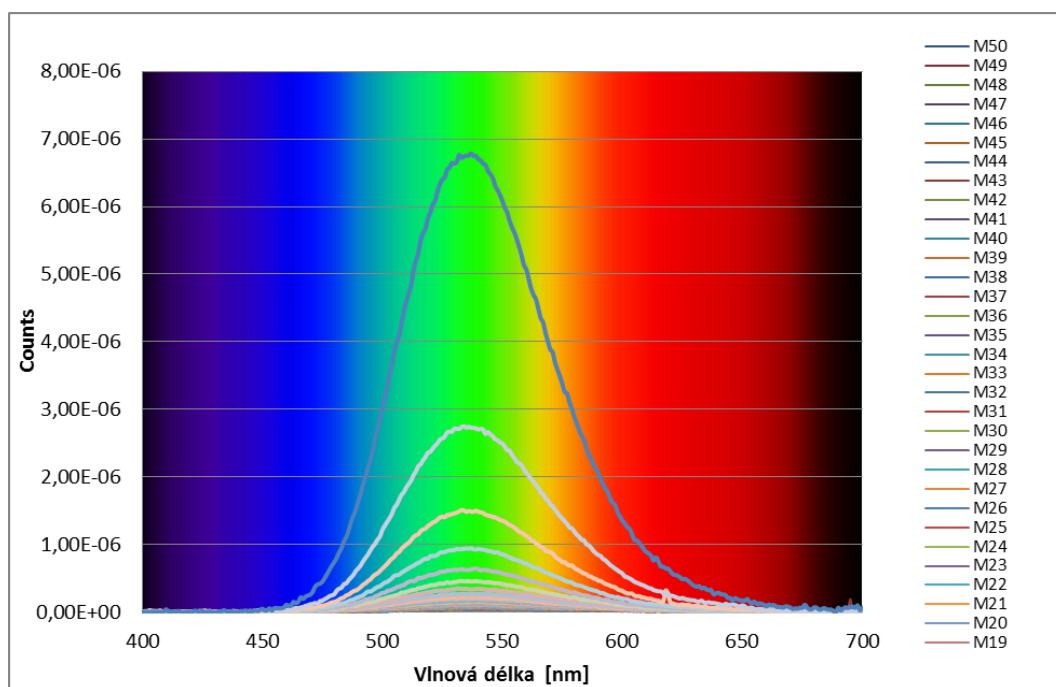
### 6.2.3 Výsledky měření pro intenzitu vyzařování - slabší koncentrace N – 200g.kg<sup>-1</sup>

Na *grafech č. 10-16*. Je znázornění pro závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v určitých časových intervalech pro podklady se slabší koncentrací substrátu, 200g/l. Tyto výsledky opět vykazují nejvyšší intenzitu vyzařování luminiscence u vzorku s podkladem bílé barvy a dále postupně upadají do nižších hodnot podklady s barvou zelenou, žlutou, modrou, černou, hnědou a červenou.

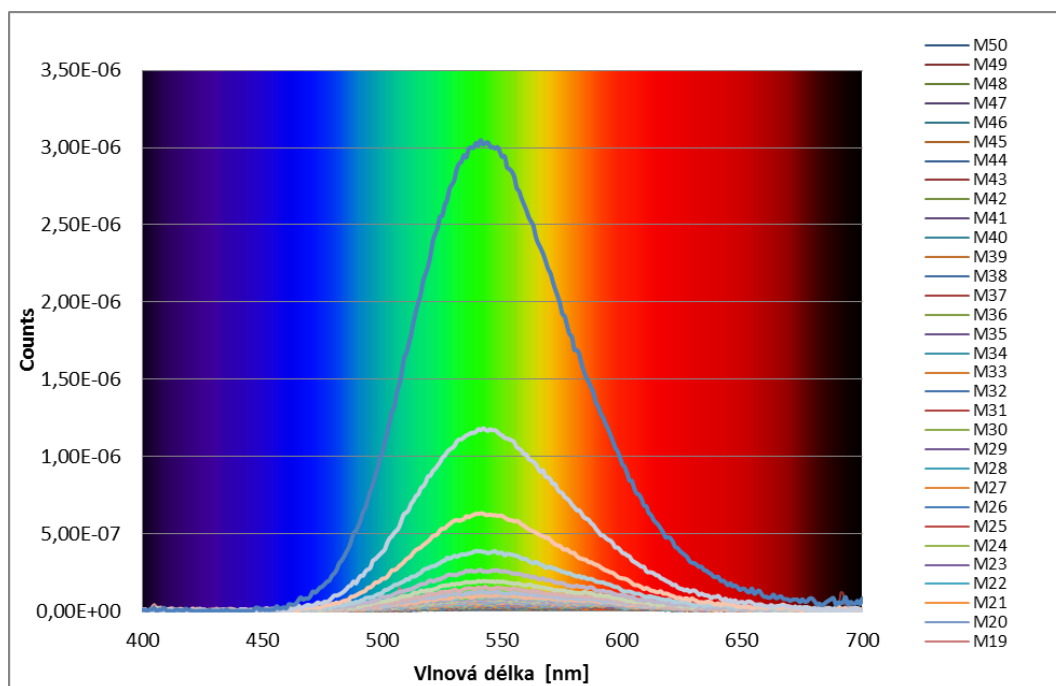


Graf č. 11 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – bílý podklad

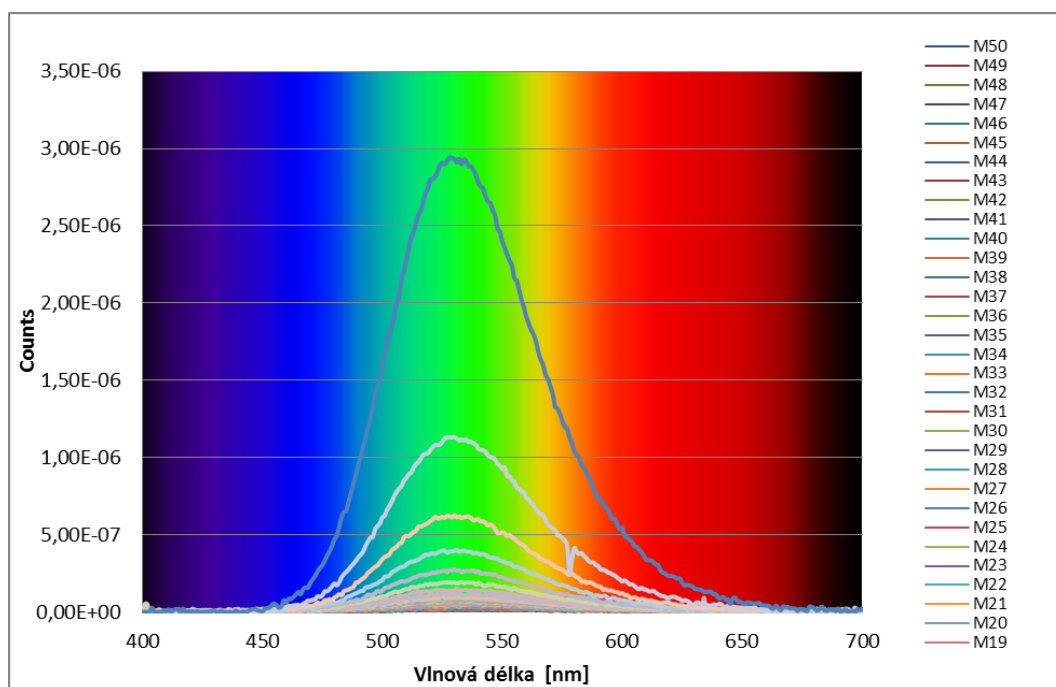
N



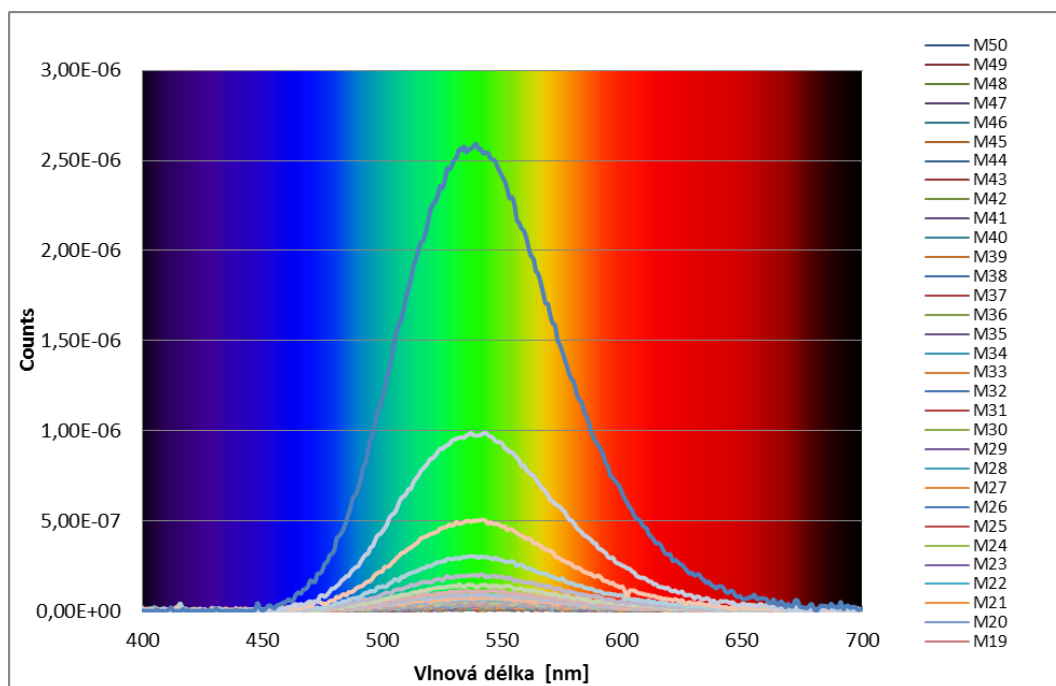
Graf č. 12 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – zelený podklad  $N$



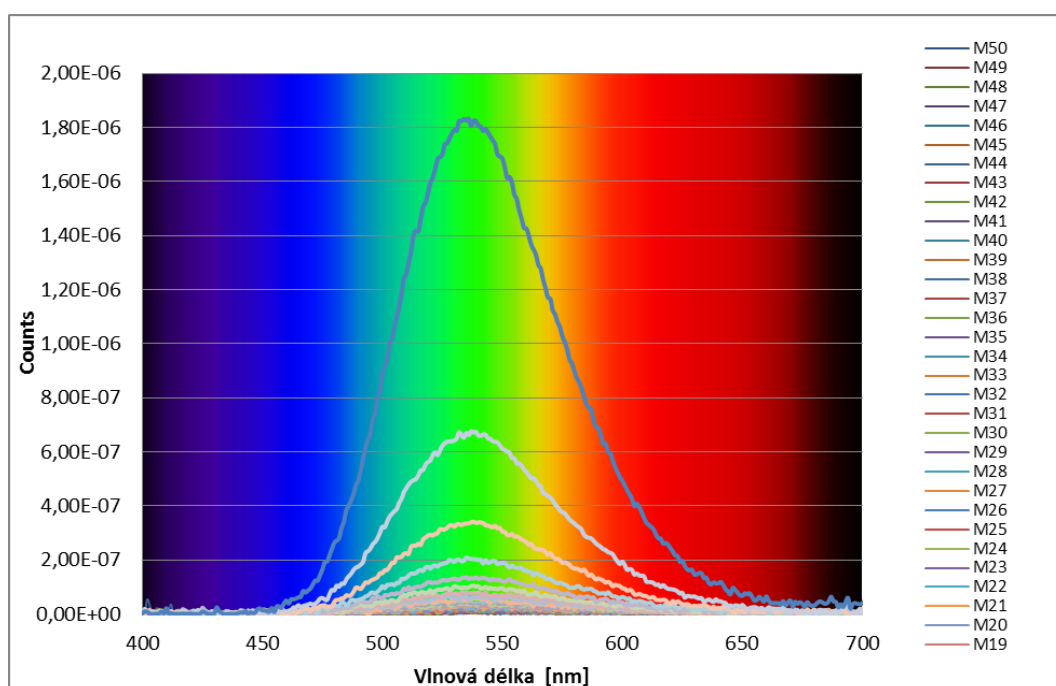
Graf č. 13 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – žlutý podklad  $N$



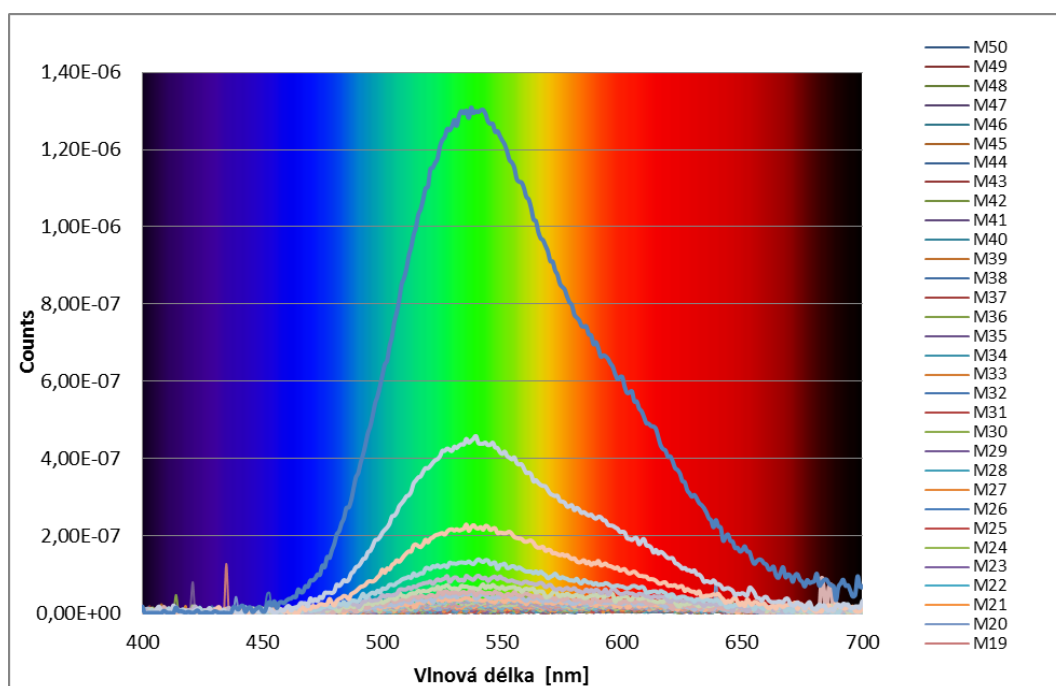
Graf č. 14 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – modrý podklad *N*



Graf č. 15 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – černý podklad *N*



Graf č. 16 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – hnědý podklad N



Graf č. 17 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – červený podklad N

## 6.3 Měření přístrojem Spektrometr Avantes USB2000

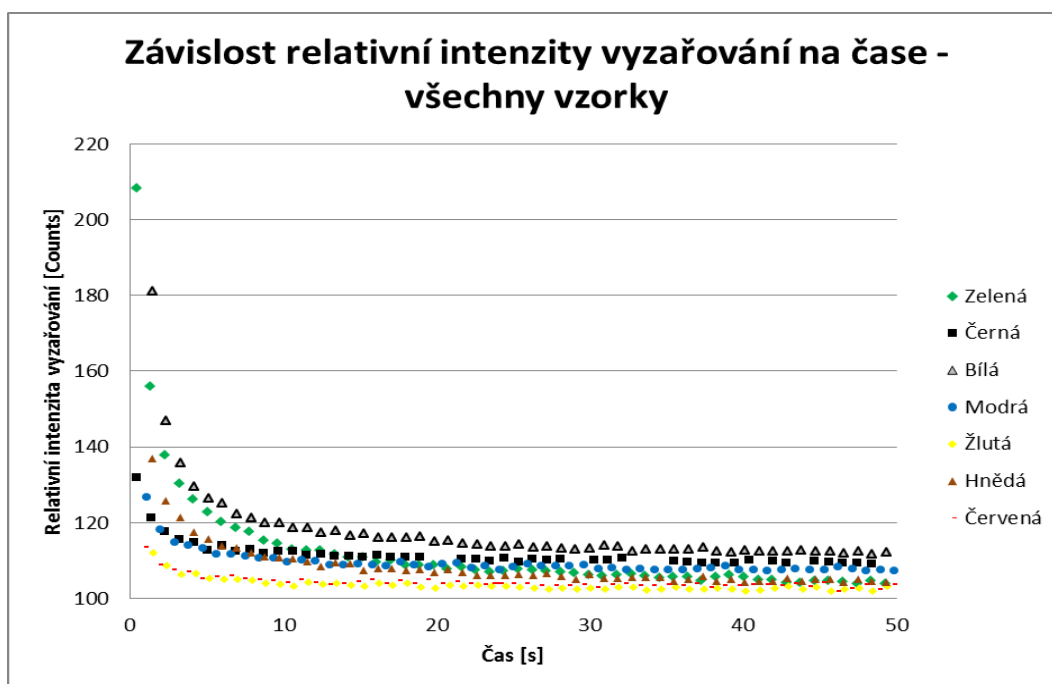
Jako druhé měření pro srovnání všech dosažených výsledků bylo měření za pomoci přístroje Spektrometr Avantes USB2000. Pro naměřené vzorky se tentokrát požil excitační čas 2 minut, kdy se luminiscenční potisk nasvítí pomocí přístroje Lumos 2004 vyrobený firmou Arsenal s.r.o. jehož rozsah vykazuje  $\lambda = 350 - 1100$  nm. Uvnitř zařízení se nachází halogenová zářivka, která umožnila nasvícení i UV záření. Po uplynulé době nasvícení byl vzorek snímán pomocí integrátoru pro přímou a difúzní emisi ve tvaru koule o průměru 30 mm, který byl propojený s přístrojem Spektrometr Avantes USB2000 po dobu 10 minut. Tyto nasnímané výsledky emisních spekter byly pořizovány a zpracovávány pomocí softwaru od firmy Options OOI Base.

### 6.3.1 Výsledky měření

Záznamy emisního spektra nasnímané přístrojem Spektrometr Avantes USB2000 byly zpracovány a převedeny do grafu číslo 17., kde je znázorněna závislost relativní intenzity záření na čase. Délka měření trvala 10 minut, avšak vzhledem k tomu, že křivka už od 1 minuty zůstala konstantní se hodnoty grafu zkrátily na dobu potřebnou.

*Graf č. 17* tedy znázorňuje, jakým způsobem probíhalo postupné zeslabení a upadání intenzity luminiscenčního záření na všech vzorkách pouze se silnou koncentrací substrátu  $600\text{g.kg}^{-1}$ . Vzhledem ke slabší kvalitě měření přístrojem Spektrometr Avantes USB2000 než na Spectrascanu, byly vzorky slabší koncentrace N vyřazeny z důvodu nízké naměřené intenzitě, kdy následně zobrazené na grafu nebyly čitelné. Intenzita vyzařování naměřena tímto způsobem ukazuje poněkud odlišné výsledky, než jsou u předešlého. Opět se dokazuje, že na nejvyšším stupni intenzity se nachází podklad zelený, po kterém následuje podklad bílý, naopak podklad hnědý, který přístroj Spectrascan vyhodnotil jako jeden z nejslabších se zde nachází na místě třetím. Poté následuje barva černá, modrá, žlutá a červená.





Graf č. 18 Závislost relativní intenzity vyzařování na čase – všechny vzorky (silná koncentrace 600g.kg-1)

## 6.4 Měření celkového činitele odrazu CSI

Vzhledem k měření intenzity vyzařování naneseného pigmentu na textilie různé barvy podkladu je důležité také naměřit barvu podkladu daného materiálu. Pro toto měření je možné díky spektrofotometru, který určen pro měření transmitance, reflexe absorbance v různých vlnových délkách pro dané spektrum. Jako první je důležité provést kalibrace pro srovnání a vyčištění signálu pozadí. Kalibrace se provádí za pomoci bílého a zeleného standardu. Dále byl pak naměřen daný barevný vzorek textilie, kde byla snímána intenzita odraženého záření ze vzorku a porovnána s referenčním kanálem. Celkový výsledek pak definuje intenzitu signálu pro daný vzorek.

Vzorky byly měřeny za pomoci přístroje Spektrofotometr Spectralflash 600 s použitou měřicí clonou o rozměru 30 mm. Materiál se složil do 4 vrstev vzhledem ke slabé struktuře (Tloušťka materiálu: 0,26 mm), která by mohla ovlivnit naměřené hodnoty.



*Obr. 30 Fotografie přístroje Spektrofotometr Spectralflash 600 pro měření činitele podkladu.*

Světelný tok dopadající na látku se od ní může odrazit, pohltit v ní, nebo jí přímo prostoupit. Je to tedy součet dílčích světelných toků:

$$\Phi_{\tau} = \Phi \cdot \tau \quad \text{činitel prostupu}$$

$$\Phi_{\rho} = \Phi \cdot \rho \quad \text{činitel odrazu}$$

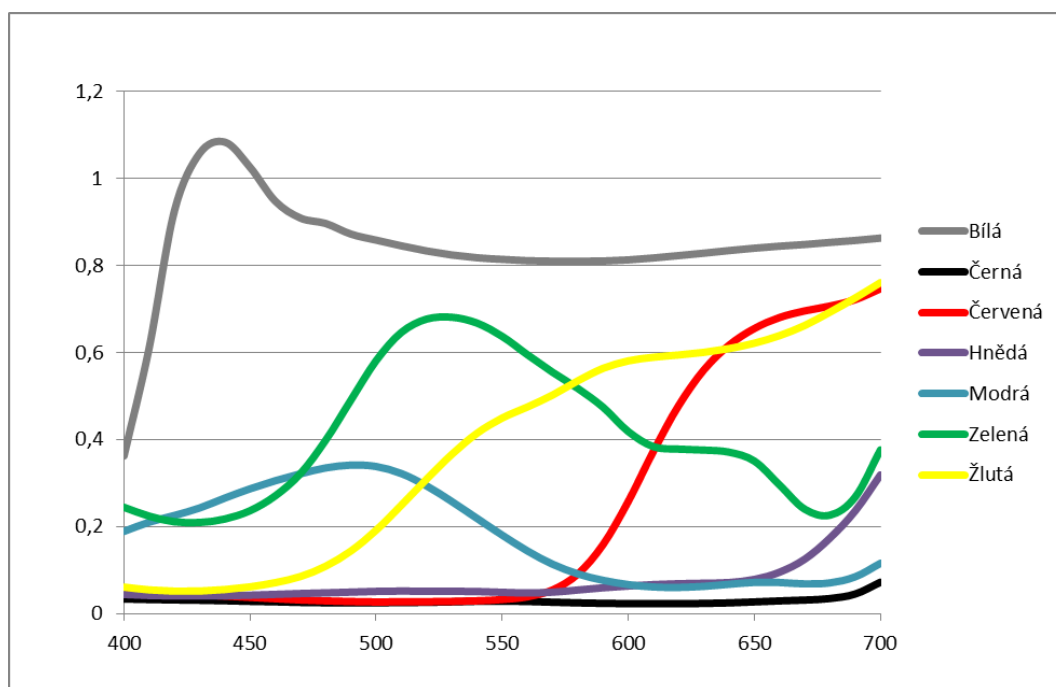
$$\Phi_{\alpha} = \Phi \cdot \alpha \quad \text{činitel pohlcení}$$

Jednotkou světelného toku je 1 lumen (lm)

V závislosti na činiteli odrazu je dopadající část světla zpět odrážena do prostoru a tento odrážející povrch materiálu je nazván jako sekundární zdroj světla.

Rovnice popisující závislost mezi jednotlivými světelnými činiteli se znázorní ve tvaru:

$$\rho = \tau + \alpha = 1 \quad [16]$$

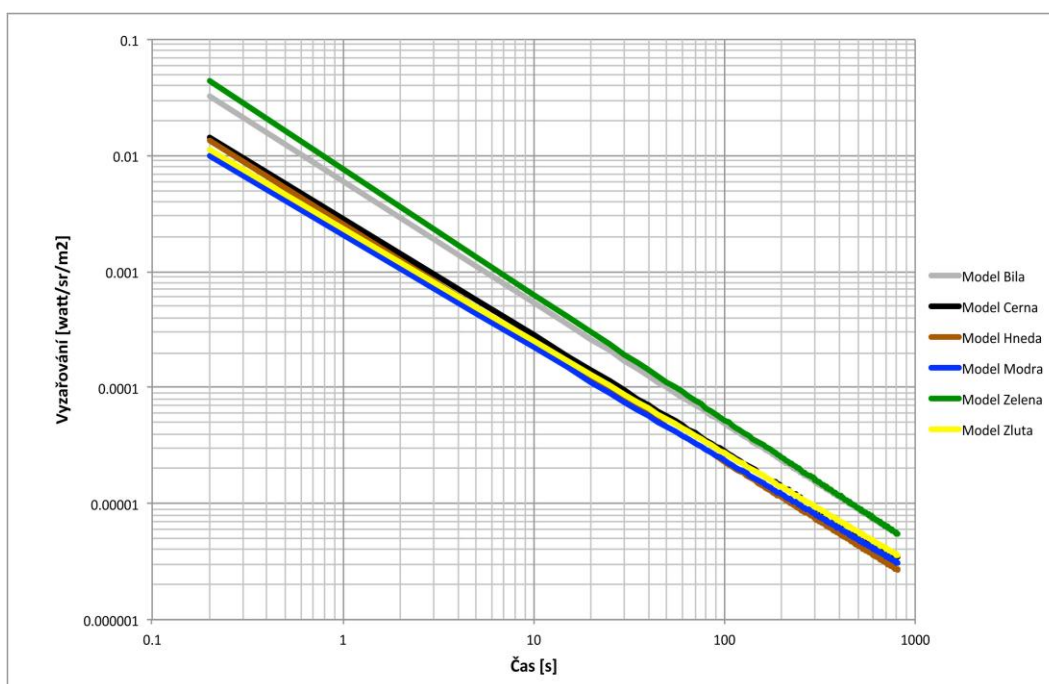


Graf č. 19 Znárodnění výsledků měření barvy podkladu pro jednotlivé vzorky.

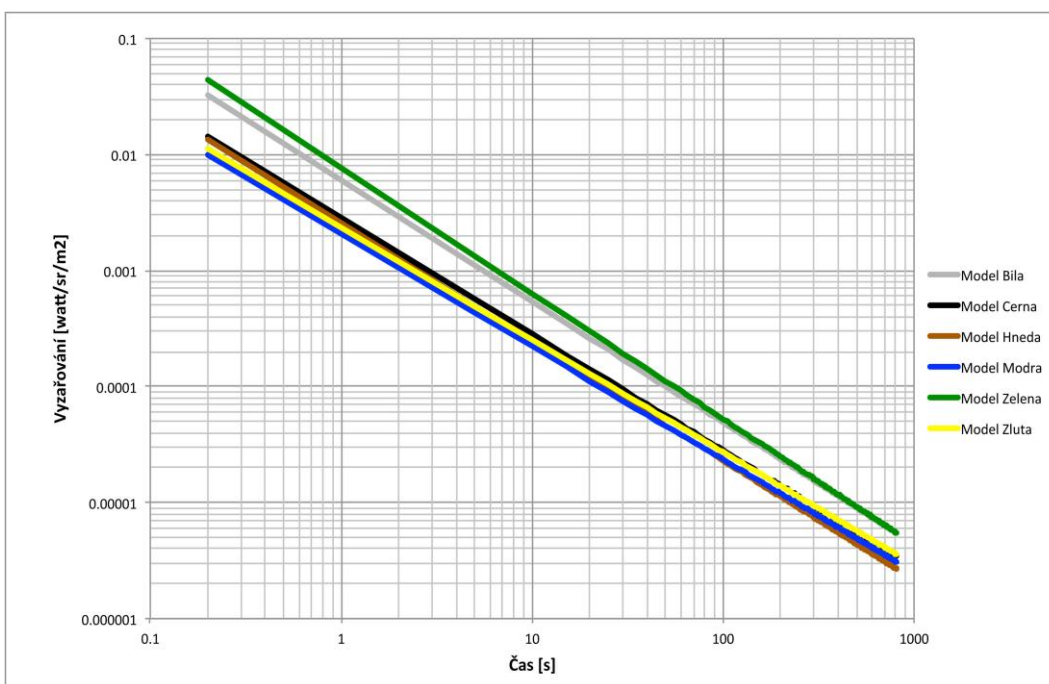
Na grafu č. 20 a 21 vytvořeným pomocí programu Excel vytvořením funkce log log, je zde znázorněn vztah toku záření (radiance) v jednotce pevného úhlu o jednotce Watt, sr<sup>-1</sup>, m<sup>-2</sup>, kdy je charakterizována energie, která je vyzařována daným vzorkem během uplynutí daného času. Na rozdíl od grafů č. 2. a 3. jsou zde do výpočtů samotného záření také vloženy údaje o vlivu podkladu (znázorněno v grafu č. 19.), což má také vliv na samotné vyzařování. Výsledky přesto ukazují stejné pořadí jako graf č. 2. a 3. Do všech těchto grafů nebyl vložen podklad barvy červené vzhledem k nízkým naměřeným výsledkům.

Pro výpočty dat grafu je použit model :

$$\text{Radiance} = 10^{(p_1 + p_2 \cdot \log(t))}, \text{ podle Německé normy DIN 67 510}$$



Graf č. 20 Vztah zářivého toku daného vzorku závislého na čase s ohledem na vliv podkladu. Silná koncentrace substrátu, 600g.kg-1.



Graf č. 21 Vztah zářivého toku daného vzorku závislého na čase s ohledem na vliv podkladu. Slabá koncentrace substrátu, 200 g/kg-1.

## 7 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ POZOROVATELŮ

### 7.1 Postup měření

Jako poslední způsob měření bylo subjektivní hodnocení 25 adaptovaných pozorovatelů věkové kategorie od 15 do 65 let a následné porovnání všech dosavadních výsledků. Každý z respondentů byl vyzván do zatemněné místnosti, kde se postupně pomocí kolorimetrické skříně GretagMacbeth SpectraLight ® III vzorky nasvítí díky simulace běžného denního světla D65 a UV záření po dobu 2 minut. Po nasvícení se postupně zaznamenávaly časové údaje o postupném vyhasínání jednotlivých barevných materiálů a také jak každý pozorovatel zvlášť vnímá rozdíly intenzity vyzařování mezi jednotlivými barvami.

### 7.2 Výsledky hodnocení

Tabulka znázorňuje zprůměrované časové údaje naměřené respondenty seřazené podle vzorků s údajnou nejsilnější a nejdelší intenzitou záření, až po tu nejslabší. Jak je možné vidět, podle průzkumu vykazují výsledky odlišné pořadí než u měření na přístroji Spectrascan a PR-740 SpectraScan Spectroradiometer. Z průzkumu se můžeme tedy dočíst v tabulce, že po osvitu denním světlem D65 a UV světlem pomocí kolorimetrické skříně GretagMacbeth SpectraLight ® III po dobu 2 minut, kdy přechází do vybuzeného stavu a vrací se zpět do stavu základního tedy znamená, že bílý podklad má intenzitu záření nejsilnější a zároveň také nejdelší dobu vyhasínání. Hned po vzorku bílé barvy se nachází podklad zelený, modrý, černý, žlutý, hnědý a nakonec červený, Který opět vykazuje nejslabší intenzitu vyzařování.

Aritmetický průměr hodnot:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad []$$

Silnější tisk			Slabší tisk		
Vzorek	600g.kg <sup>-1</sup>	N	Vzorek	200g.kg-1	N
Vyhasíná $\mu$			Vyhasíná $\mu$		
Zhasíná $\mu$			Zhasíná $\mu$		
Čas			Čas		
Bílý	11:33	44:32	Bílý	10:25	39:01
Zelený	10:17	32:15	Zelený	9:45	20:17
Modrý	10:37	31:52	Modrý	7:23	18:19
Černý	8:55	23:42	Černý	2:55	15:52
Žlutý	8:47	21:27	Žlutý	2:15	12:17
Hnědý	7:43	21:17	Hnědý	2:37	7:25
Červený	5:20	17:26	Červený	3:10	6:51

*Tabulka č. 1 Zobrazení průměrných časových údajů pro hodnocení intenzity vyzařování luminiscence určených 25 respondenty.*

Po celou dobu měření bylo možno také sbírat veškeré poznatky z pohledu pozorovatele, kdy nehodnotil pouze intenzitu a délku dosvitu, ale zároveň porovnání rozdílů záření a viditelnosti mezi jednotlivými barvami podkladu.

*Tabulka č. 2* znázorňuje souhrn použitých vzorků podle barvy podkladu a jejich umístění s ohledem na intenzitu záření při měření všemi přístroji a hodnocení pozorovatelů sestupně od nejintenzivnější až po ten nejméně zářivý.

PR-740 SpectraScan Spectroradiometer			Avantes USB2000 (pouze silná koncentrace 600g/l)	25 Respondentů (obě koncentrace)	Celkové průměrné hodnocení
Silná koncentrace 600g/l		Slabá koncentrace 200g/l			
1.	Zelená	Bílá	Zelená	Bílá	Bílá, Zelená
2.	Bílá	Zelená	Bílá	Zelená	Bílá, Zelená
3.	Černá	Žlutá	Hnědá	Modrá	Černá
4.	Hnědá	Modrá	Černá	Černá	Modrá

5.	Modrá	Černá	Modrá	Žlutá	Hnědá
6.	Žlutá	Hnědá	Žlutá	Hnědá	Žlutá
7.	Červená	Červená	Červená	Červená	Červená

Tabulka č. 2 Souhrn použitých vzorků podle druhu měření a závěrečný výsledek.

### 7.2.1 Bílý podklad

Podle hodnocení pozorovatelů se ukázalo, že luminiscenční potisk na bílém podkladu jak slabší, tak i silnější koncentrace substrátu, má nejvyšší intenzitu záření. V porovnání s ostatními vzorky bylo také naměřeno, že má zároveň nejdelší dobu dohasínání (silná koncentrace průměrná doba 44:32 minut, slabší koncentrace 39:01 minut). Po měření na přístroji PR-740 SpectraScan Spectroradiometer však výsledky ukázaly, že vzorek bílé barvy se silnější koncentrací je až na druhém místě po vzorku barvy zelené. Stejně výsledky pak vyšly i při měření druhém pomocí snímacího přístroje Spektrometr Avantes USB2000. U vzorku se slabší koncentrací ovšem hodnocení dokázalo, že má nejvyšší intenzitu vyzařování. Z celkového hodnocení proto vyplývá, že je zde možné ovlivnění pozorovatele myšlenkou, že bílá je barva jasnější než další odstíny. Lidské oko proto hodnotí celkovou intenzitu záření jako vyšší oproti ostatním vzorkům jiné barvy.

### 7.2.2 Zelený podklad

Výsledky měření vzorku s podkladem zelené barvy na obou přístrojích prokázaly jasně nejvyšší intenzitu zářivého toku pigmentu. Vzorek s potiskem o silnější koncentrace substrátu zaměřil přístroj PR-740 SpectraScan Spectroradiometer jako vzorek s nejvyššími hodnotami intenzity toku emitovaného plochou dostupného zdroje stejně jako Spektrometr



Avantes USB2000. U vzorků se slabší koncentrací už převládal podklad s barvou bílou u všech 3 druhů měření. Celkové hodnocení respondentů ukázalo, že zelený podklad září slaběji než vzorek bílý. Dále jsou zaznamenány poznatky pozorovatelů o tom, že slabší koncentrace pigmentu vzorku zelené barvy má vyšší, nebo stejnou intenzitu záření než vzorky barvy modré a žluté se silnější koncentrací a zároveň má delší dobu dosvitu.

### 7.2.3 Černý podklad

Dalším z barevných vzorků o se silnější koncentrací, patřícím do intenzivnější vyzařující poloviny hodnocených přístrojem PR-740 SpectraScan Spectroradiometer je vzorek barvy černé. Pokud to však srovnáme s výsledky měření spektrofotometrem Avantes, můžeme si povšimnout, že zde se černý podklad nachází až v pořadí po barvě hnědé, kde je naměřena vyšší intenzita záření. Vzorek se slabší koncentrací substrátu, na podkladu barvy černé, snímáný SpectraScanem Spectroradiometrem se stejně jako u hodnocení pozorovatelů zařadil nikoli za barvu hnědou jako je to u Avantesu, ale za barvu modrou, tudíž na místo 4. Podle zjištěných poznatků respondentů se postupně došlo k výsledku, že očekávání od barvy černé bylo větší, než skutečnost. Ačkoliv se počítalo s určitým kontrastem mezi podkladem a luminiscenčním pigmentem, v závěru se ukázalo spíše pohlcení intenzity záření tmavým podkladem, kdy se při sledování vyhasínání jevil vzorek se silnější koncentrací stejně intenzivní jako slabá koncentrace na podkladu vzorku barvy zelené a modré.

### 7.2.4 Žlutý podklad

Žlutý podklad se silnější koncentrací, zachycen na místě čtvrtém při snímání SpectraScanem Spectroradiometrem. Oproti tomu nános pigmentu o slabší koncentraci je ve srovnání se stejnými vzorky jiné barvy podkladu o stupeň zářivější a to před barvou modrou a černou. Celkové porovnání všech naměřených výsledků vede k zajímavé diskusi o tom, proč spektrofotometr vyhodnotil podklad žlutý jako jeden s nejmenší intenzitou vyzařování a dohasínání luminiscence. Může to být z důvodu neúplné přesnosti při měření spektrofotometrem Avantes, kdy přístroj není přesně schopen zachytit relativní nejvyšší

možnou intenzitu vzorku přesně. Vezmeme-li na vědomí fakt, že jsou přesnější nasnímané hodnoty SpectraScanem Spectroradiometrem, pak je tu další nesrovnalost v porovnání s hodnocením respondentů, kdy se silnější koncentrace naměřena s dobou vyhasínání v průměrném čase 8:47 minut a dobou celkového zhasínání luminiscenčního záření 21:27 minut a slabší koncentrace s dobou vyhasínání 2:15 a 12:17 minut, nachází v celkovém pořadí jako pátá. Respondenti také k této barvě dodali, že se záření vzorku o silnější koncentraci jeví stejně intenzivní jako u podkladu zelené barvy slabší koncentrace. Žlutý podklad se slabší koncentrací substrátu byl celkově vyhodnocen jako velmi slabý.

### **7.2.5. Hnědý podklad**

Další z hodnocených vzorků je podklad barvy hnědé, který je celkově hodnocen mezi nejslabšími a to SpectraScanem Spectroradiometrem se silnou koncentrací substrátu jako pátý, vedle toho se slabší koncentrací jako 6. Jako předposlední ve skupině pozorovaných, a tudíž jako jeden z nejméně vyzařujícím je takto hodnocen i z pohledu 25 respondentů. Pro tyto vybrané pozorovatele se luminiscenční pigment na podkladu barvy hnědé, ať jde o jakoukoliv koncentraci substrátu, jeví jako druhý nejslabší co se týče intenzity vyzařování, stejně tak i hlediska doby vyhasínání. Jak je viditelné z tabulky č. 1. pro průměrné časy dohasínání a intenzity luminiscence, vzorek se substrátem slabší konzistence má čas zhášení už 7:25 minut. Nesmíme však zapomenout na měření přístrojem spektrofotometr Avantes, který je zmíněn záměrně až jako poslední vzhledem k jeho výsledkům. Tento přístroj zachytil snímáním toku intenzity vyzařování v závislosti na vlnové délce a času jako jeden z nejvyšších. Podle grafu č. 18., kde je znázorněn hnědý podklad jako třetí.

### **7.2.6. Modrý podklad**

Modrý podklad svými výsledky také otevírá poněkud širší diskusi, vzhledem k odlišnosti postavení v žebříčku hodnocených barev u jednotlivých způsobů měření. Začneme-li opět u hlavního měření a to přístrojem SpectraScan Spectroradiometer, je zde vidět že podklad se silnější koncentrací natisknutého substrátu je zde na předposledním

šestém místě, a to jako druhý nejslabší, zatímco slabší konzistence se s vyšší intenzitou vyzařováním než je u podkladu černé a hnědé barvy dostala na položku číslo 4. Podobné hodnocení dopadlo také při měření spektrofotometrem Avantes, kde se podle grafu nachází před podkladem barvy žluté a červené o hodnotě kolem 128. Výsledky dle hodnocení respondentů ukázaly, že pozorovatelé ohodnotili intenzitu záření luminiscenčního pigmentu na podkladu modré barvy jako třetí nejvíce vyzařující vzorek hned po podkladu bílém a zeleném. Dále se také vedly diskuse mezi jednotlivými hodnotiteli, jelikož asi polovině z nich se přibližně po 15 minutách postupně jevil potisk na modrém podkladu jako zářivější než potisk na podkladu zeleném. Zároveň byl pak vzorek se slabší koncentrací substrátu později pozorován jako jeden ze slabších.

### **7.2.7. Červený podklad**

Jako poslední a ve všech směrech a měření nejslabší je zde vzorek s podkladem barvy červené. Ať jde o měření přístrojem SpectraScan Spectroradiometer, spektrofotometr Avantes, nebo subjektivní hodnocení 25 pozorovatelů, červený podklad se substrátem slabší či silnější konzistence vykazuje nejslabší intenzitu vyzařování luminiscence. Je zde možné jen porovnat jednotlivé hodnoty mezi sebou, čímž zjistíme, že ačkoliv jde o silnější koncentraci substrátu, je zde rozdíl mezi červeným podkladem a všemi ostatními opravdu velký. Vzorek o slabší konzistenci už takový rozdíl nemá a nachází se přibližně ve stejné linii jako podklad barvy hnědé. U přístroje spektrofotometr Avantes je výsledek podobný s tím, že místo hnědé barvy je barva žlutá a to v bodě přibližně kolem 116. Podle pozorovatelů je pigment natištěný na podkladu červené barvy hodnocen jako vzorek s vůbec nejslabší intenzitou vyzařování a dobou vyhasínání. Při pozorování byl v čase kolem 5 minut označen jako téměř nezářivý.

## 8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat rešerši na téma luminiscence, luminiscenční materiály, její rozdělení, měření intenzity a doby vyzařování. V teoretické části je shrnutí všech dosavadních poznatků z oblasti luminiscence, její využití a potencionálních aplikací na textilie spolu s druhy luminiscenčních a jiných pigmentů. Dále popisuje jevy probíhající během vybuzení, záření a důvody, proč a jakým způsobem luminiscenční jev funguje.

V experimentální části byla provedena studie pro vyhasínání luminiscence při dané době pro expozici a dané světelné energie použitého ozáření s ohledem na barvu použitého podkladu pro luminiscenční pigment. Byl zde popsán druh použitého textilního materiálu, jeho základní vlastnosti a sedmi barevných odstínů použitých jako vzorky podkladu pro luminiscenční potisk (bílá, černá, zelená, modrá, hnědá, žlutá, červená). Pro potisk byl použit luminiscenční pigment od firmy Shandong Lunbo Luminous Products Co.,Ltd, ze kterého se v chemické laboratoři připravil pigment o silnější a slabší koncentraci substrátu a následně se pomocí rámu pro sítotisk natiskl na jednotlivé připravené barevné vzorky textilie. Připravených 14 vzorků bylo následně vysušeno, zafixováno a tím také připraveno pro měření. Jako první proběhlo měření za pomoci přístroje přístroje Lumos 2004 od firmy Avantes s.r.o, kde se každý jednotlivý vzorek nasvítí po dobu expozice 2 minuty a následně se snímala intenzita vyzařování s ohledem na vlnovou délku a čas.

Díky jedinečné příležitosti využití zapůjčeného přístroje PR-740 SpectraScan® Spectroradiometer bylo možné provést další řadu měření luminiscenčního jasu, intenzity a délky vyzařování. Toto hlavní měření se provádělo v zatemněné místnosti, kde se vzorky materiálů nasvítily v kolorimetrické skříni GretagMacbeth SpectraLight ® III denním světlem D65 a UV zářením po dobu 10 minut, kdy přístroj následně dalších 15 minut snímá veškeré údaje o vyzařování, délce a teplotě luminiscenčního pigmentu.

V průběhu měření těchto dvou přístrojů se postupně pracovalo na dalším a posledním průzkumu a to za pomoci 25 oslovených respondentů, jako hodnocení vnímání luminiscenčního procesu vyhasínání lidským okem. Každý z pozorovatelů byl posazen do

zatemněné místnosti, kde se vzorky nasvítily po dobu expozice 2 minut a poté hodnotil daný jev a jeho poznatky a připomínky. Tyto údaje se následně zprůměrovaly a dosadily do tabulky.

Všechny naměřené hodnoty se v závěru zpracovaly do podoby grafů a tabulek, podle kterých bylo možné porovnat velikost intenzity zářivého toku a doby zhasínání mezi jednotlivými vzorky. Hodnotily se zde rozdíly mezi vzorky se stejnou barvou podkladu, ale odlišnou koncentrací substrátu (slabší, silnější), dále pak rozdíly mezi vzorky s odlišnou barvou podkladu.

Podle dosažených výsledků bylo prokázáno, že opravdu barva podkladu má vliv na luminiscenční efekt daného vzoru a to s velkými rozdíly mezi intenzitami záření daného pigmentu. Podle výsledků naměřených hodnot oběma přístroji bylo prokázáno, že vzorek s nejvyšší dosaženou intenzitou při vybuzeném stavu je vzorek se zelenou barvou podkladu, po které následuje podklad bílý. Toto se týká pouze vzorků se silnější koncentrací substrátu. Slabší koncentrace svými výsledky prokázala opak a to, že nejintenzivnější záření má podklad barvy bílé a až poté zelené. Zbylé barevné podklady při srovnání mezi hodnotami naměřenými jednotlivými přístroji vykazují odlišné postavení, proto byla vytvořena závěrečná tabulka, kde se provedlo celkové porovnání mezi jednotlivými umístěními barevných podkladů. Z těchto poznatků se následně vytvořil průměr z dostupných postavení barev, kde se došlo k jednotnému konečnému závěru.

Při měření intenzity a vyhasínání luminiscence s ohledem na barvu podkladu a spektrální distribuci světelné energie, má největší vliv na vysokou hodnotu záření luminiscenční pigment na vzorku s podkladem barvy zelené a bílé. Jako třetí nejintenzivnější byl vzorek s podkladem černou, přičemž zde byl vidět vliv černé barvy, kdy sice opticky tvořila kontrast mezi pigmentem a vlastní barvou, ale také vyzařované světlo pohlcovala. Následuje vzorek barvy modré, který měl nejvyšší hodnocení pro intenzitu záření u hodnocení respondentů, u ostatních měření vykazovala zářivost poněkud nižší. Podklad barvy hnědé, který podle pozorovatelů nevykazoval přílišnou intenzitu v porovnání s ostatními vzorky opět čelí skoku, který dokazuje měření přístroji, kde patří

do poloviny silnějších stejně jako barva žlutá, která při slabé koncentraci substrátu vyzařuje s vyšší intenzitou, než například modrá, avšak silnější koncentrace posunula její hodnocení mezi ty nejméně zářivé. Jednoznačně poslední a tudíž nejméně světélkující pigment je na podkladu barvy červené, což prokázali všechny druhy měření. Tyto výsledky nás vedou k diskusi, proč lidské oko vidí vybuzení luminiscence jinak, než prokazuje naměřené hodnoty speciálních přístrojů. Možné vysvětlení pro tento jev je, že lidské oko má jinou spektrální citlivost k jednotlivým barvám a je schopno zaměřit pouze určitou hodnotu vlnové délky vyzařování oproti přístroji. Také je zde možné vidět, že lidské vnímání barev a odstínů je určitým způsobem ovlivněno okolními podmínkami a určitými dalo by se říct „zvyky“. Pozorovatel ohodnotil jako nejzářivější pigment na podkladu barvy bílé, jelikož se od barvy bílé očekává, že bude vykazovat nejvyšší intenzitu bez zvážení dalších možností.

Díky zdařeným výsledkům měření, ze kterých se ukázalo, že opravdu barva podkladu má vliv na luminiscenční efekt. Myslím si, že pokračováním s dalšími průzkumy nejen u jiných barev a odstínů, ale také jiných druhů materiálů, u kterých se výsledky mohou velmi lišit například u syntetických materiálů, se může textilní průmysl posunout opět o malý kousek dále.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1 DROZD, Zdeněk a Petra VÁCHOVÁ. Elektromagnetické záření: vzdělávací modul fyzika : výukový a metodický text : Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi - projekt OPPA. Vyd. 1. Praha: P3K, 2012, 55 s. ISBN 978-80-87186-82-4.
- 2 Němcová,M; Čermáková,L; Rychlovský,P.: Spektrometrické analytické metody.Univerzita Karlova. Karolinum Praha 1997.
- 3 Dvořák, L.; Kupka, Z.: Fyzikální podstata a využití luminiscence. 1.st ed.; Praha: SPN, 1980.
- 4 PÁTEK, Karel. Luminiscence: fyzikální poznatky a technické aplikac. 1. vyd. Praha: SNTL, 1962, 55 s. Řada teoretické literatury.
- 5 NEPRAŠ, Miloš a Miloš TITZ. Základy teorie elektronových spekter: absorpční a luminiscenční spektra organických sloučenin v ultrafialové a viditelné oblasti světla. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983, 371 s
- 6 ROPP, R. Luminescence and the solid state: fyzikální poznatky a technické aplikac. 2nd ed. Boston: Elsevier, 2004, xvii, 711 p. Řada teoretické literatury. ISBN 04-445-1661-1.
- 7 HOF, M.; HUTTERER, R.; FIDLER, V.: Fluorescence spectroscopy in DNA and cells. [on-line]. London: Springer, 2005. [cit. 3.1.2009]. Dostupné z <<http://books.google.com/books?id=2022edTHMMEC&pg=PP1&dq=fluorescence+spectroscopy+in+biology&client=firefox-a>>. ISBN: 9783540223382
- 8 D. Parker, Luminescent lanthanide sensors for pH, pO<sub>2</sub> and selected anions, Coordination Chemistry Reviews, 2000, 205, 109-130.
- 9 RICHTEROVÁ, Jana. Diplomová práce: Využití luminiscenčních materiálů v textilních aplikacích. Liberec: Technická Univerzita, Fakulta Textilní, 2012

- 10 RUDOLF AUTRATA, Jana Vančurová. Nauka o zraku. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 978-807-0133-620.
- 11 SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. Atlas fyziologie člověka. 6. přeprac. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2004, XII, 435 s. ISBN 80-247-0630-X.
- 12 ROZSÍVAL, Pavel a Agamemnon DESPOPOULOS. Oční lékařství. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2006, 373 s. ISBN 80-246-1213-5.
- 13 NEMOTO & CO., LTD.; LIGHT FAST - SUPER BRIGHT LONG AFTERGLOW PHOSPHORESCENT PIGMENTS. Luminova  
®. <http://www.umccorp.com/print/LuminovE%20%2804-16-2009%29.pdf>
- 14 GRAVISSE P, J. F. Van Schoote, US Patent 4211813.
- 15 NASSAU, K. : Color for Science, Art and Technology, Elsevier, 1998
- 16 Laboratorní cvičení z Environmentální fyziky: Měření odrazu světla, Fakulta technologická, UTB ve Zlíně,

#### POUŽITÉ INTERNETOVÉ ODKAZY

- 17 FBI-VŠB-TU Ostrava, Aplikovaná fyzika- Elektromagnetické záření,  
[http://if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/af\\_vyuka/elmag\\_zareni.doc](http://if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/af_vyuka/elmag_zareni.doc).
- 18 FYZIKA MIKROSVĚTA , Kvantová fyzika, Záření absolutně černého tělesa,  
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/719-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
- 19 Pavelek M, Energetický Ústav, Obor termomechaniky a techniky prostředí,: Planckův vyzařovací zákon, <http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0202.htm>
- 20 Přírodovědecká fakulta, Katedra biofyziky,  
<http://biofyzika.upol.cz/userfiles/file/OSP1-5Web.pdf>
- 21 FIŠAR, Zdeněk. PSYCHIATRICKÁ KLINIKA. *Fluorescenční spektroskopie v neurovědách*.  
<http://psych.lf1.cuni.cz/fluorescence/soubory/fluorescence.pdf>
- 22 Wikipedie, [http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD\\_strana](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana)
- 23 Encyklopedie Cojeco,: Barviva,  
[http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id\\_desc=7746&title=barviva&s\\_lang=2](http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=7746&title=barviva&s_lang=2)



- 24 Uranit, Zábavné chemie a pyrotechnika, Luminofory- příprava a složení,  
<http://uranit.wz.cz/view.php?page=sbarvy>
- 25 Principy fluorescenční spektroskopie,  
<http://psych.lf1.cuni.cz/fluorescence/soubory/principy.htm>
- 26 SWICOFIL, [http://www.swicofil.com/glow\\_yarn.html](http://www.swicofil.com/glow_yarn.html)
- 27 Keegan, N. (ed.): *Raw Materials for Pigments, Fillers & Extenders*. 3rd edition,  
Worcester Park: Industrial Minerals Information Limited, 1999. 114 s.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Elektromagnetické spektrum. ....	16
Obr. 2 Emisní a excitační spektrum. [7].....	17
Obr. 3 Schéma zářivých a nezářivých přechodů mezi elektronově vibračními stavy složité molekuly. ....	26
Obr. 4 Glow yarns neboli zhářivé přize od firmy Swicofil. ....	30
Obr. 5 Normalizovaná křivka citlivosti lidského oka,.....	32
Obr. 12 Fotografie použitého luminiscenčního prášku v normálním a vybuzeném stavu. .	36
Obr. 13 Vzorek bílé barvy. ....	38
Obr. 14 Vzorek zelené barvy. ....	38
Obr. 15 Vzorek modré barvy. ....	39
Obr. 16 Vzorek černé barvy. ....	39
Obr. 17 Vzorek hnědé barvy.....	39

Obr. 18 Vzorek žluté barvy. ....	40
Obr. 19 Vzorek červené barvy.....	40
Obr. 20 Struktura vzorku modré barvy z pohledu pod mikroskopem. ....	40
Obr. 21 Struktura vzorku modré barvy z pohledu pod mikroskopem, který vyjadřuje.....	41
Obr. 22 Struktura vzorku bílé barvy. ....	41
Obr. 23 Struktura vzorku zelené barvy.....	42
Obr. 24 Struktura vzorku černé barvy. ....	42
Obr. 25 Struktura vzorku žluté barvy. ....	42
Obr. 26 Struktura vzorku hnědé barvy. ....	43
Obr. 27 Struktura vzorku červené barvy. ....	43
Obr. 28 Použitý přístroj PR-740 SpectraScan Spectroradiometer.....	44
Obr. 29 Fotografie znázorňující osvit vzorků silné koncentrace substrátu 600g/l v kolorimetrické skříni GretagMacbeth SpectraLight ® III.....	45
Obr. 30 Fotografie přístroje Spektrofotometr Spectralflash 600 pro měření činitele podkladu. ....	58

## Seznam grafů

Graf č. 1 Výsledky měření vyhasínání luminiscence vzorku z plastu znázorněné formou log-log diagramu.....	28
Graf č. 2 Závislost intenzity záření na čase.(Všechny vzorky silná koncentrace $600\text{g.kg}^{-1}$ ) .....	47
Graf č. 3 Závislost intenzity záření na čase. (Všechny vzorky slabší koncentrace N).....	48
Graf č. 4 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – zelený podklad .....	48
Graf č. 5 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – bílý podklad .....	49
Graf č. 6 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – černý podklad .....	49
Graf č. 7 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech –žlutý podklad .....	50
Graf č. 8 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech - hnědý podklad .....	50
Graf č. 9 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – modrý podklad .....	51
Graf č. 10 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – červený podklad .....	51
Graf č. 11 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – bílý podklad N .....	52

Graf č. 12 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – zelený podklad N .....	53
Graf č. 13 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – žlutý podklad N .....	53
Graf č. 14 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – modrý podklad N .....	54
Graf č. 15 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – černý podklad N .....	54
Graf č. 16 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – hnědý podklad N .....	55
Graf č. 17 Závislost intenzity vyzařování na vlnové délce v různých časech – červený podklad N .....	55
Graf č. 18 Závislost relativní intenzity vyzařování na čase – všechny vzorky (silná koncentrace 600g.kg-1) .....	57
Graf č. 19 Znázornění výsledků měření barvy podkladu pro jednotlivé vzorky. ....	59
Graf č. 20 Vztah zářivého toku daného vzorku závislého na čase s ohledem na vliv podkladu. Silná koncentrace substrátu, 600g.kg-1. ....	60
Graf č. 21 Vztah zářivého toku daného vzorku závislého na čase s ohledem na vliv podkladu. Slabá koncentrace substrátu, 200 g/kg-1. ....	60

## Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Zobrazení průměrných časových údajů pro hodnocení intenzity vyzařování luminiscence určených 25 respondenty. ....	62
Tabulka č. 2 Souhrn použitých vzorků podle druhu měření a závěrečný výsledek. ....	64